BAND 3

RAVAG-BÜCHEREI

GEHEIMNISSE DER RADIOWELLE

I.

VON

Chefingenieur

JOSIP SLIŠKOVIČ

Mit 14 Abbildungen

ÖSTERREICHISCHER BUNDESVERLAG • WIEN 1947

Zum Andenken an Slišković

RAVAG-BÜCHEREI

Nr. 3

GEHEIMNISSE DER RADIOWELLE

VON

Chefingenieur
JOSIP SLIŠKOVIĆ

14 Abbildungen

ÖSTERREICHISCHER BUNDESVERLAG
WIEN

Wien 1947
Österreichischer Bundesverlag

Druck: C. Ueberreuter (M. Salzer) Wien
Einbandentwurf Ferdinand Limberg
Verlagsnummer 911—3

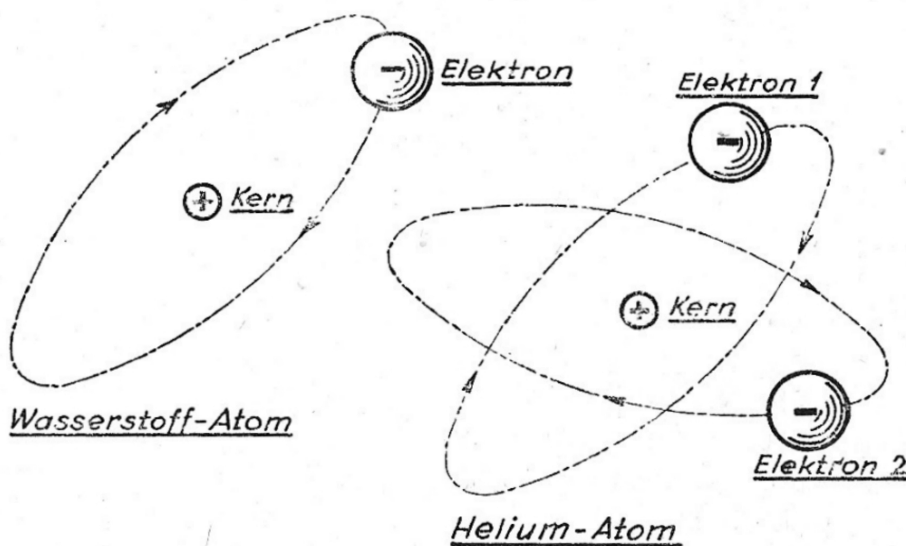
Geheimnisse der Radiowelle

Wir befinden uns am Vorabend eines neuen technischen Zeitabschnittes, knapp vor der angewandten Atomtechnik. Viele ungeahnte Möglichkeiten schlummern noch verborgen unter dem Mantel der Mutter Natur und die Technik ist gerade daran, eines der ganz großen Geheimnisse zu lüften, neue Erkenntnisse zu sammeln, neue Ideen und neue Verwertungsmöglichkeiten für das Wohl der Menschheit zu schaffen.

Das „Atom“ ist augenblicklich der Mittelpunkt, um den sich die Wißbegierde der heutigen Menschen dreht, ganz gleich ob Laie oder Wissenschaftler. Das „Atom“, das große Geheimnis der Natur — eine Hypothese — so klein, daß man es weder sehen, noch richtig fassen kann, aber doch so gewaltig in seinen Auswirkungen. Ein friedliches, winziges, kleines Ding, jedoch von Zorn gepackt und unbarmherzig, wenn man seine innere Ordnung zu stören oder gar zu zerstören versucht.

Wenn man es auch lange Zeit als den kleinsten Teil der Materie angesehen hat, denn das besagt sein Name (*ἄτομος,* unteilbar), so ist es nach den Erkenntnissen der letzten Jahre, stofflich gesehen weder etwas Kompaktes, noch Einheitliches, sondern ein wohlgeordnetes ganzes mikrokosmisches Sonnensystem, das sich ewig bewegt und nur durch die schnelle Bewegung der einzelnen Bausteine als ein ganzes Gebilde erscheint. Sein Kern, der Mittelpunkt des Systems, stellt die Masse dar, für jedes Element einen ganz bestimmten Betrag positiver elektrischer Ladung beinhaltend, um welchen in rasender

Geschwindigkeit ein oder mehrere negativ geladene Teilchen herumlaufen. Nun besagt die Wissenschaft, daß der positiven Kernladung immer nur eine ganz bestimmte Anzahl der negativ geladenen, um sie kreisenden Teilchen entspricht und so das Atom nach außen elektrisch neutral erscheint. Diese negativen Teilchen, oft auch Atome der Elektrizität genannt, stellen die kleinste elektrische Ladung dar und heißen Elektronen. Sie sind im Verhältnis zum Kern sehr groß; wenn man sich beispielsweise das ganze Atom als Erdkugel vorstellt, so würde der Kern einer Orange von 6 kg Gewicht im Mittelpunkt der Erde entsprechen und, um das leichteste Element Wasserstoff zu charakterisieren, würde das einzige zugeordnete Elektron kreisförmig entlang der Erdoberfläche als eine Kugel von beil. 140 m Durchmesser und bloß 3 g Gewicht herumlaufen. Also eine Orange im Verhältnis zum Stefansturm. Und doch ist die Masse und das Gewicht des Atoms im Kern enthalten, denn das Gewicht des Kernes ist 1800mal größer als das Gewicht des Elektrons. Hat also ein Atom nur ein herumlaufendes Elektron, so ist das ein Wasserstoffatom; zwei Elektronen hat das Helium, drei das Lithium; und so weiter



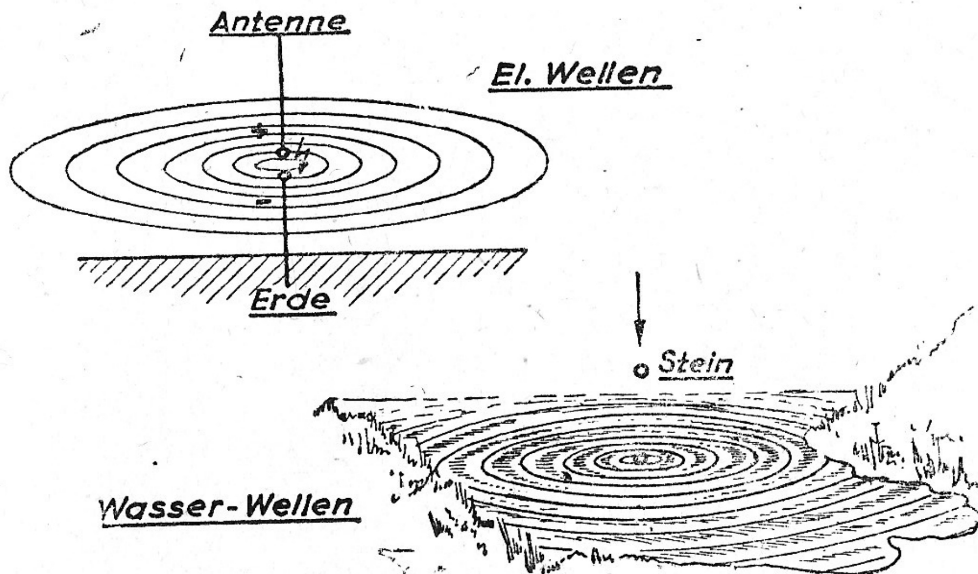
bis zu den schwersten chemischen Elementen Polonium, Radium, Uranium usw. Danach unterscheiden sich die chemischen Elemente nur durch die Höhe der positiven Kernladung und demgemäß durch die Anzahl der an den Kern gebundenen Elektronen. Es klingt unwahrscheinlich, aber es ist doch so, daß auch Stein und Stahl, Gas und Wasser, Gold und Platin und jede Materie immer wieder aus gleichen Bausteinen bestehen und im Wesen sich ihre Atome nur durch die Anzahl der gebundenen Elektronen, oder anders gesagt, durch die positive Kernladung, unterscheiden. Und diese Atomkerne bergen in sich die geheimnisvolle Kraft, die die Elektronen an sich bindet, sie sind zwar auch nicht das Kleinste, aber sie stellen die Urkraft dar und bestehen aus mehreren Atomkerneinheiten. Vielleicht wird einmal eine andere, bessere Erklärung die jetzige Anschauung verdrängen. Es hat keinen Sinn, sich jetzt in weitere, genauere Erklärungen zu verlieren, denn das würde viel zu weit führen und aus dem Rahmen unserer Aufgabe fallen. Das Wichtigste wissen wir schon. Die Materie besteht aus Atomen, die wieder eine fest verschworene Gemeinschaft aus Atomkernen und, entsprechend dem chemischen Element, aus einer genauen Anzahl Elektronen bestehen. Diese umlaufen den Atomkern mit einer ungeheuren Geschwindigkeit in genau vorgeschriebenen Bahnen. Vielleicht ist es wissenswert, wie rasch so ein Elektron um den Atomkern läuft? Die Geschwindigkeit ist wirklich groß, die Zahl der Umläufe in einer Sekunde beträgt 6530 Billionen, daher beträgt die Umlaufgeschwindigkeit 2187 km/sec. oder 7,800.000 km/Stunde. Wie armselig sind dagegen unsere besten Jagd-, Raketen- und Düsenflugzeuge mit nur 950 bis 1100 km in der Stunde.

Nun gibt es aber in allen Stoffen, besonders aber in den Metallen, in den Zwischenräumen, zwischen den Atomen, noch eine ganze Menge freier Elektronen, die nach außen elektrisch neutral sind, die mit dem Wesen des Atoms nichts zu tun haben und die von außen beeinflußbar sind. Diese können unter bestimmten Voraus-

setzungen entweder angehäuft werden oder es können zu wenige vorhanden sein. Im ersten Falle sagen die Techniker, der Körper ist negativ elektrisch geladen, im Falle des Elektronenmangels spricht man von elektrisch positiv geladenen Körpern. Jedenfalls muß man zwei so verschieden geladene Körper gut isoliert aufstellen und möglichst weit voneinander, denn die Sehnsucht, mit der sie sich anziehen, wird unverhältnismäßig immer größer, je näher sie zueinander kommen. Verringert man den Abstand auf die Hälfte, so üben sie jetzt aufeinander nicht die doppelte Kraft aus, sondern genau die vierfache, und immer so weiter, bis bei einer bestimmten Entfernung die trennende Luftschicht der Sehnsucht der verschieden geladenen Körper nicht mehr standzuhalten vermag. Es kommt zu einem stürmischen, sichtbaren und hörbaren Ausgleich der Ladung. Ein Funke springt von einem Körper zum anderen über, ein künstlicher Blitz entsteht, den man hört, sieht und riecht, denn bei dieser Entladung entsteht Ozon, ein Bruder des gewöhnlichen Sauerstoffs. In diesem elektrischen Funken liegt viel mehr als bloß die optisch-physikalisch-chemische Wirkung, die wir mit unseren Sinnen wahrnehmen können. Fürs unbewaffnete Auge erscheint es, als ob es sich um einen einzigen Funken handelte, und dennoch sind es immer mehrere in gleichen Zeitabschnitten hintereinander folgende und immer schwächer werdende Funken, die noch dazu jedesmal die Richtung wechseln. Alles das spielt sich allerdings in äußerst kurzen Zeitabständen ab, und unser träges Auge nimmt den ganzen Vorgang, der sich in nur vielleicht einer Tausendstel-Sekunde abspielt, als einen einzigen Funken wahr. Was geschah aber in Wirklichkeit bei so einer Funkenentladung? Von der Stelle des Elektronenüberflusses sprangen zuerst die Elektronen auf kürzestem Wege auf die elektronenärmste Stelle über und das kommt gleich dem Stromfluß mit allen seinen Nebenerscheinungen. Der elektronenarm gewordene Körper wirkt sogar jetzt so, als ob er positiv elektrisch geladen

worden wäre, und es kommt zu einer neuen Entladung im umgekehrten Sinne. Dieser Wechselvorgang spielt sich so lange ab, bis sich ein völliger Gleichgewichtzustand ergeben hat, was allerdings, wie wir gesehen haben, in einer Tausendstel-Sekunde sein kann. Diese hin- und herfunkende Entladung kommt einer Hin- und Herflutung von Elektronen gleich, also einem elektrischen Strom wechselnder Richtung. Nennen wir das Kind gleich beim richtigen Namen, also dem Wechselstrom von verhältnismäßig hoher Wechselzahl.

Heinrich Hertz war der erste, der diese Funkenentladungen beobachtet und studiert hat und die merkwürdige Eigenschaft bemerkte, daß sich der ganze Raum um die Funkenstrecke in einem eigenartigen Zustand befindet und die anderen Körper, insbesondere Metalle, im Wirkungskreis der Funkenstrecke elektrisch erregen und aufladen kann, ohne mit der Funkenstrecke in direkter Verbindung zu stehen. Diese Fernwirkung, die Hertz genauest studiert hat, der alle in Frage kommenden Gesetzmäßigkeiten damals schon festgestellt hat, stellt die



praktische Ausführung einer drahtlosen Fernwirkung, oder wie man zu sagen pflegt, die Geburtsstunde der praktischen Erzeugung elektromagnetischer Wellen dar.

Wir stellen fest: Zwei verschieden elektrisch geladene Körper, nahe aneinander gebracht, durchbrechen die trennende Luftschicht und es kommt zum erstmaligen Elektronenausgleich, wie ein ins ruhige Wasser geworfener Stein unmittelbar der Umgebung einen Stoß versetzt, das Wasser um die Einfallsstelle in pendelnden Zustand versetzt. Rund um die Einfallsstelle bilden sich kreisförmige, immer schwächer werdende Wasserwellen, die sich wie konzentrische Kreise ausnehmen. Ob sie das Ufer erreichen oder früher schon völlig verschwinden, hängt nur von der Stärke ab, mit der der Stein die Einfallsstelle trifft. Alles das finden wir bei unserer elektrischen Funkenstrecke vor. Auch hier bilden sich rund um die Funkenstrecke kugelförmig elektrische Wellen aus, die den ganzen Raum in elektrisch schwingenden Zustand versetzen, der aber mit größer werdender Entfernung immer schwächer und schließlich gänzlich zu Null wird. Diesen eigenartigen Raum um die arbeitende Funkenstrecke nennt man das elektromagnetische Kraftfeld. Alles, was sich in so einem Kraftfeld befindet, wird selbst angeregt und schwingt mehr oder weniger freudig mit, genau so wie beim Wasser. Alles, was sich innerhalb der Reichweite der Wasserwellen befindet, bewegt sich mit, ob es ein kleines Papierboot oder ein schwerer schwimmender Gegenstand ist.

Nikola Tesla war es, der die elektrische Funkenstrecke mit der von dem russischen Gelehrten Poppof für andere Zwecke erdachten Antenne verband, den anderen Pol geerdet und so die Reichweite einer solchen Anlage wesentlich vergrößert hat. Dadurch konnte mit dem Raum eine innigere Verbindung hergestellt und die Strahlung rund um die Antenne auf viel größere Entfernung wirksam werden. Die Antenne vergrößert demnach die Reichweite des elektromagnetischen Kraftfeldes.

Die arbeitende Funkenstrecke, insbesondere in Verbindung mit der Antenne, pumpt die freien Elektronen einmal hin und einmal her in rasender Geschwindigkeit und erzeugt somit ein weit reichendes elektromagnetisches Kraftfeld; so eine Anordnung ist in Wirklichkeit ein Radiosender. Wir brauchen jetzt nur das Einsetzen der Funkenentladung künstlich zu steuern, also längere Zeit bestehen lassen, ein- und aussetzen lassen, und schon sind wir in der Lage, Zeichen von einem Ort zu einem anderen zu übertragen. Ordnen wir die Länge der Funkenentladungen, die wir willkürlich erzeugen, einem System zu, wie das der Amerikaner Morse gemacht hat, so sind wir in der Lage, auf drahtlosem Wege Buchstaben, Silben, Wörter und damit Nachrichten zu übertragen. Wir hätten so einen Funksender vor uns. So fing man auch an. Tesla, Marconi, Graf Arco, Braun und Slaby, alle arbeiteten so und erreichten die Überbrückung großer Entfernungen, sandten Zeichen von Europa nach Amerika, verbanden so die Festländer durch unsichtbare Fäden und überwanden den Begriff des Raumes und der Zeit.

Wir wissen doch, daß sich die elektrischen Vorgänge mit der rasenden Geschwindigkeit von 300.000 km in der Sekunde ausbreiten, also genau eine Million mal schneller als die Schallwellen, demnach in rund einer Sechstelsekunde einmal um den Erdball herumkommen, das heißt, daß sie sich genau so schnell fortpflanzen wie das Licht. Ist vielleicht das Licht auch so eine elektrische Erscheinung wie unsere durch Funken erzeugten Wellen...? Die Antwort kann nach dem heutigen Stand der Technik nur die unbedingte Gleichheit des Zustandes ergeben. Also das Licht ist auch ein Hin- und Herfluten von Elektronen, nur in noch schnellerem Tempo, und nur von der sekundlichen Anzahl der Schwingungen hängt es ab, ob wir einen Sender mit unserem Sinnesorgan, dem Auge, wahrnehmen können oder nicht, oder ob es sich um sichtbare oder fühlbare Wellen handelt, oder ob wir erst besondere Vorrichtungen benützen müssen, um das Vorhandensein solcher Wellen nachweisen zu

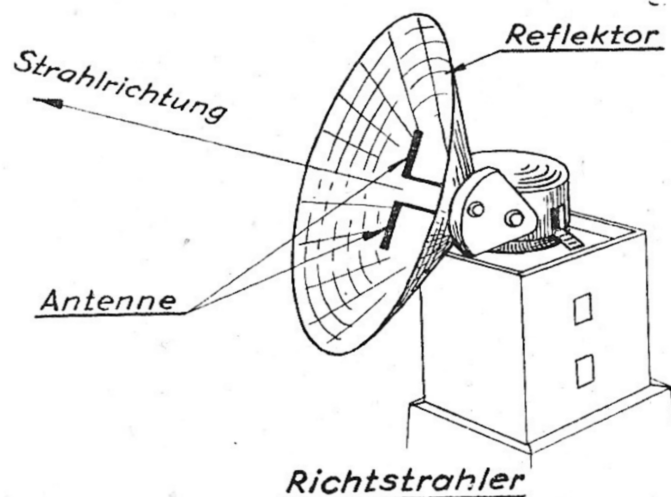
können. Diese Vorrichtungen nennen wir dann Empfänger. Somit ist unser Auge ein Empfänger für Lichtwellen. Jawohl, ein ausgezeichneter, sehr empfindlicher Radioempfänger für alle Wellen des sichtbaren Spektrums, von rot bis violett. Die längeren Wellen von Rot über unsichtbares Infrarot äußern sich als Wärmewellen, die wir ebenfalls fühlen können, die kürzeren dagegen von violett über ultraviolett kann uns eine photographische Platte nachweisen, oder, falls wir uns solchen Strahlen längere Zeit aussetzten, würde die Verfärbung des Pigmentes unserer Haut ihr Vorhandensein nachweisen. Wenn wir das alles zusammenfassen, so kommen wir zu dem Schluß, daß ein brennender Ofen, eine Glühlampe, die Sonne, die Quarzlampe und eine Funkenstrecke alles dasselbe sind, alles Wellenerzeuger. Jawohl, so ist es, alles das sind rein elektrische Vorgänge, jedoch verschiedener Frequenz. Ein neues Wort, was ist das eigentlich? Frequenz ist die Zahl der sekundlichen Impulse, also die Zahl, die uns angibt, wie oft in der Sekunde die angestoßenen freien Elektronen hin- und herpendeln. Auch die Frequenz muß man irgendwie benennen oder messen können, so wie man die Länge in Zentimetern mißt oder die Gewichte in Gramm oder Kilogramm. Die Frequenzeinheit wurde, zu Ehren des Heinrich Hertz, ein Hertz genannt und wird abgekürzt Hz geschrieben. Würden beispielsweise bei einem Funksender eine Million Funken in einer Sekunde nacheinander erfolgen, so würde man sagen, daß dieser Sender eine Frequenz von einer Million hat, also eine Million Hertz, ein anderer vielleicht nur eine halbe Million, oder so wie unser Sender Wien I mit der Welle von 506 m eine Frequenz von genau 592 kHz (sprich Kilohertz), das sind 592.000 Hz. Nun wird man fragen, was ist das denn Neues, eine Welle von so und soviel Metern? Einmal sprechen wir von Frequenz, dann gleich wieder von Metern. Kann man vielleicht die elektrischen Schwingungen auch mit einem Schneidermaßstab nach Zentimetern oder Metern messen? Die Bezeichnung Wellen-

länge für elektrische Schwingvorgänge ist, wie ich schon vor vielen Jahren erwähnt habe, gänzlich falsch, aber so eingebürgert und bis heute geblieben und für allgemeine Bezeichnung der Schwingbereiche auch in der technischen Welt gebräuchlich. Die Erklärung ist so einfach, daß ich sie auch hier erwähnen möchte. Wenn sich beispielsweise ein elektrischer Schwingungsvorgang genau ein Million Mal in der Sekunde abspielt, so würde der Weg eines solchen periodischen Ablaufes eine ganz genau errechenbare Länge betragen. Wir brauchen nur die sekundliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Schwingungen, also die Zahl 300 Millionen Meter durch die Zahl der Schwingungen in der Sekunde, also durch eine Million zu dividieren, so bekommen wir die Zahl 300. Danach ist die Wellenlänge der Schwingungen von einer Million Hertz genau 300 m, oder von 10 Millionen Hertz 30 m oder von 100 Millionen Hertz 3 m, oder von 1000 Millionen Hertz 3 cm usw. Um die 1000 Hz nicht immer voll aussprechen oder aufschreiben zu müssen, bedient man sich genau so wie bei Längenmaßen oder Gewichten gekürzter Ausdrücke, 1000 m gleich 1 km oder für 1000 g gleich 1 kg, für 1000 Hertz sagt man danach 1 Kilohertz (KHz) und für eine Million ein Megahertz oder abgekürzt 1 MHz. Die Umrechnung von Kilohertz in Meter oder umgekehrt ist sehr einfach. Man dividiert im ersten Falle die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Metern durch die Wellenlänge in Metern und bekommt die Periodenzahl in Hertz, oder die Fortpflanzungsgeschwindigkeit durch die Hertz und bekommt die Wellenlänge in Meter. Wir wollen uns aber merken, daß sich die einzelnen Wellen nur durch ihre Frequenz unterscheiden und danach auch ganz verschiedene Eigenschaften haben. Die Wärmewellen gehen z. B. auch um die Ecke, die Lichtwellen pflanzen sich nur geradlinig fort und können gänzlich abgeschattet werden oder mit einem Spiegel gebündelt, wie das bei den Autoscheinwerfern der Fall ist, wobei ihre Strahlung in eine Richtung bevorzugt wird. Die ganz kurzen elektrischen Wellen

benehmen sich wie die Lichtwellen, jedoch dringen sie durch Wände und Häuser, die längeren Wellen gehen auch um die Ecke, pflanzen sich gerne entlang des Bodens fort, dringen in das Erdinnere oder in die Häuser ein oder bleiben gerne an elektrischen Leitungen oder Wasserläufen oder Wasserflächen haften, ohne viel von ihrer Stärke einzubüßen. Ein Teil der Strahlung geht in den Raum als Raumwelle, läuft manchmal wenig geschwächt rund um die Erde und trifft erst dann unseren Empfänger. Die längeren dagegen sind die solideren, die bleiben am liebsten am Boden haften, werden zwar nach etwa 200 km merklich schwächer, aber dafür sind sie wenig von der Tageszeit abhängig, sie sind immer da. Sie kommen ganz gleich stark an bei Tag und bei Nacht und geben so den sichereren Empfang. Die mittleren Wellen dagegen werden bei Tag nur bei sehr starken Sendern 200 km Tagesreichweite erreichen, und kaum, daß die Nacht ihren dunklen Mantel auf die Erde legt, kommen auch die schwachen Sender über hunderte, ja manchmal über tausende von Kilometern frisch und munter zu uns. Das sind wahre Launen der elektrischen Schwingungen, sie sind sozusagen reine Nachtwandler. Aber sie können nichts dafür. Sie selbst sind nicht schuld daran. Auch diese elektrischen Schwingungen werden genau so wie die Lichtwellen gespiegelt, also zurückgeworfen von allem, und zwar je nach der Beschaffenheit der Materie mehr oder weniger. Das Licht spiegelt sich am besten von glatten Flächen, die elektrisch langsameren Schwingungen dagegen am besten von Metallen, elektrisch leitenden Gasen oder von ionisierten Gasen, zum Schluß auch von allen anderen Körpern und auch, mehr oder weniger gut, von der Erde selbst. Danach muß man die elektrisch erzeugten Schwingungen auch bündeln, sammeln und polarisieren[1] können. Alles das hat schon Heinrich Hertz festgestellt und experimentell nachgewiesen und somit den glänzend-

[1] Unter Polarisation versteht man Schwingungen, die sich nur in einer Ebene abspielen, während normale Schwingungen sich in allen Richtungen des Raumes abspielen.

sten praktischen Beweis für die Maxwellsche Theorie der elektromagnetischen Schwingungen erbracht, aber erst die letzten 25 Jahre brachten wirklich greifbare Beweise und Ergebnisse in erstaunlich gut erdachten Formen. Sie haben bestimmt schon die scheinwerferähnlichen, merkwürdigen großen Gebilde auf den Flaktürmen gesehen. Ja, das waren tatsächlich wirkliche Reflektoren, aber nicht für Lichtwellen, sondern für die ultrakurzen Wellen, die damit gebündelt gerade in jener Richtung geworfen wurden, wohin die Öffnung des Hohlspiegels



Richtstrahler

zeigte. Auch das berühmte Radar-Gerät hat so einen elektrischen Scheinwerfer, bündelt scharf die elektrischen Wellen, richtet sie entweder gegen den Himmel oder die See und entdeckt so aus den zurückgestrahlten, gespiegelten Wellen die herannahenden Flugzeuge, U-Boote oder Schiffe, bekommt sogar die vom Mond zurückgeworfenen Signale und ermöglicht so die Verwirklichung der Teslaschen Gedanken, die er im Jahre 1887 ausgesprochen hat, daß es nämlich einmal möglich sein wird, mittels seiner Ströme auch zu den anderen Planeten zu gelangen. Der Anfang wäre gemacht. Wir haben schon die Verbindung.

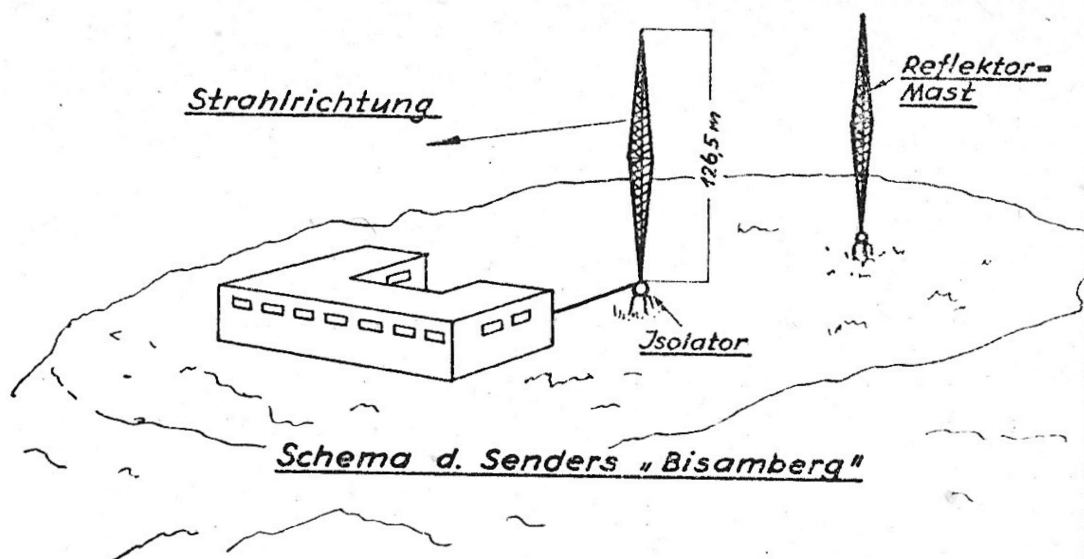
mit dem Mond mittels elektrischer Wellen und des Radar-Gerätes hergestellt und die Zukunft wird uns zeigen, ob wir nicht über kurz oder lang auch bis zum Mars oder Saturn gelangen werden.

Wir besprachen, daß unsere normalen Wellen, auf denen sich die Programme hauptsächlich abspielen, die merkwürdige Eigenschaft aufweisen, nachts über viel größere Entfernungen gehört zu werden, und sobald die Sonne zu scheinen beginnt, verschwinden sie wieder, wie wenn sie für uns gar nicht vorhanden wären. Sie sind höchstens dann im Umkreis von 100 bis 150 km von der Sendeantenne hörbar. Ähnlich verhalten sich die Kurzwellen, bis herab in das 10-m-Gebiet. Das muß irgendwie mit der Sonne in Zusammenhang stehen.

Die Sonne ist doch selbst ein gewaltiger Radiosender, jedoch erzeugt sie viel Schwingungen kürzerer Wellen, als unsere Radiostationen das tun. Die Sonne erzeugt, von den Wärmestrahlen angefangen, ein ganzes Frequenzspektrum bis zu den ultravioletten Strahlen und wahrscheinlich noch mehr darüber hinaus. Wir wissen, daß unsere Erdkugel mit der für alle Lebewesen wichtigen Lufthülle umgeben ist, die bis etwa 12 km hinaufreicht, dann kommt die Stratosphäre, als eine weitere Schale um die Erde und dann die Ionosphäre. Diese besonders stickstoffreiche Schichte wird durch die ultravioletten Strahlen der Sonne ionisiert, d. h. elektrisch leitend gemacht und verhält sich für manche elektrische Wellen wie ein Spiegel; treffen also die Raumwellen unserer Sendestation die Ionosphäre, so werden sie fast ungeschwächt zurückgeworfen und werden je nach der jeweiligen Entfernung von der Erde entweder sehr nahe oder sehr weit die Erde wieder erreichen. Da sich die Ionisation tiefer in die Atmosphäre erstreckt, also der Erdoberfläche näher ist, wenn zwischen dem Sender und Empfänger die Sonne scheint, so sind keine großen Entfernungen mittels der Raumwellen zu erreichen; anders liegt es dagegen, wenn das Gebiet sich im Nachtzustand befindet. Jetzt liegt die spiegelnde Fläche viel

höher, vielleicht 100 bis 150 km weit von der Erdoberfläche entfernt und die bis hinauf gelangten Wellen werden auf große Entfernungen zurückgestrahlt. Diese Erklärung gab erstmalig der englische Physiker Heaviside, weshalb man ihm zu Ehren die reflektierende Schichte als Heaviside-Schichte nennt. Sie ist nichts Festes, sondern etwas Gasförmiges, daher ändert sie ständig die Form und Lage, und so kommt es, daß die bei Nacht so laut einfallenden Stationen in ihrer Stärke schwanken, kommen und verschwinden, je nachdem wie die Spiegelung den reflektierenden Strahl auf unsere Empfangsantenne zu oder von ihr fort bewegt. Diese Erscheinung, die sehr unangenehm ist und die den Empfang bis zum völligen Verstummen bringen kann, nennt man Schwunderscheinung oder Fading-Effekt. Die Heaviside-Schicht ist auch schuld daran, daß wir Kurzwellen so gut auf große Entfernungen und bei relativ geringer Sendeleistung hören können. Da kommen hauptsächlich bei Tag die Wellen von 13 bis 31 m, und wenn es dunkel wird, die von 31 bis 60 m. Diese so hohen Frequenzen dringen ziemlich tief in die Heaviside-Schicht ein und werden erst bei größerer Dichte der Ionisation richtig zurückgeworfen, und so kommt es, daß wir mit Leichtigkeit bei Tag die Sendungen aus Australien, Japan oder Amerika hören, obwohl die Sendestationen keine besonders hohe Leistungen besitzen. Es kommt oft vor, daß wir auf Kurzwellen die Stationen besser oder überhaupt hören, deren Wellen den längeren Weg um die Erde zu uns zurücklegen, und zwar durch mehrfache Reflexionen an der Heaviside-Schicht. Jetzt wird es uns auch klar, warum gerade die Kurzwellen so sehr unter Fading-Erscheinungen zu leiden haben.

Will man gewisse Gebiete besonders gut mit Senderenergie versorgt haben, also das Kraftfeld eines Senders in einer bestimmten Richtung ausbreiten lassen, dann muß man senderseitig zu Reflektoren greifen, welche auch den Namen Richtstrahler führen. Unser alter Bisambergsender hatte auch einen einfachen Spiegel. Das

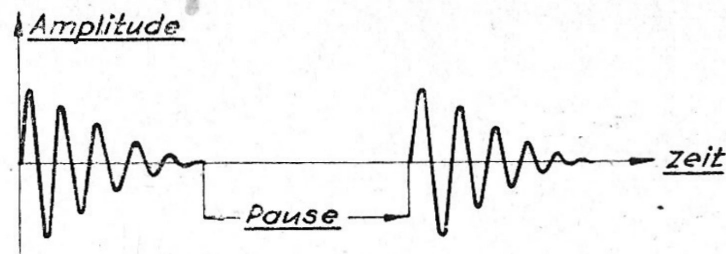


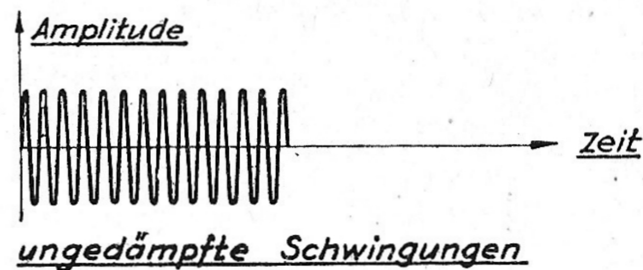
war der zweite Antennenmast, welcher mit dem wirklichen Sendermast gar nicht in Verbindung war. Er hat jenen Teil der abgestrahlten Energie, der vom Sendermast zu ihm gelangte, abgefangen und wie ein schmaler Spiegel zurückgeworfen. Diese Art der bevorzugten Strahlung war notwendig, da der Sender Wien I als Hauptsender des Landes Österreich in allen Bundesländern gut gehört werden sollte. Die langgestreckte Form des österreichischen Staates mit der Hauptstadt Wien an einem Ende bedingte die Richtstrahlung nach Südwesten, also über das ganze Gebiet bis Tirol und Vorarlberg.

Die kurzwelligen Sendestationen benützen manchmal Reflektoren, die nach Bedarf z. B. vormittags nach Süd-Afrika, nachmittags nach Ost-Asien und nachts nach Nord-Amerika gerichtet, etwas gegen den Himmel, also gegen die Heaviside-Schicht, geneigt werden und so die gewünschten Gebiete bis zu 105fach und mehr mit Energie versorgen als mit einer gewöhnlichen Rundstrahlantenne. Einen solchen drehbaren Richtstrahler hatte die holländische Kurzwellenstation Hilversum.

Verwendet man als Rundstrahlantenne nur einen senkrecht aufgestellten Leiter in Form von Draht oder eines isolierten Mastes, so wird nach Tesla eine solche Antenne dann am besten strahlen, wenn ihre Länge mit der Länge der Welle in eine bestimmte verwandte Beziehung gebracht wird, und zwar entweder gleich der Wellenlänge oder der Hälfte oder einem Viertel der Wellenlänge. Meistens wird der letzte Fall angewendet und so hatten die Maste des Senders Bisamberg eine Höhe von genau 126·5 m. Die beste Höhe konnte sehr genau eingestellt werden.

Wir haben uns schon so viel mit den elektrischen Wellen im allgemeinen beschäftigt, ohne genauer erklärt zu haben, wie diese wirklich so erzeugt werden, wie man sie für die Zwecke der Sprach- oder Musikübertragung braucht. Mit den Funken ist da nichts zu machen. Die Anwendung der Funkenentladung kann für Telegraphiezwecke wohl verwendet werden, für Telephonie aber nicht, und zwar aus mehreren Gründen. Erstens haben die Funkenentladungen einen — wie wir bereits früher gehört haben — abnehmenden Charakter, also sie stellen eine sogenannte kurzzeitige gedämpfte Schwingung dar, und zweitens ist die Pause bis zur nächsten Stoßerregung viel zu lang. Man müßte zuerst Wege finden, wie man elektrische Schwingungen erzeugen kann, die fortlaufend und immer gleicher Stärke sind. Das würde bedeuten, auf irgendeine Art und Weise die Verluste, die bei Funkenentladungen entstehen, zu decken, ähnlich einer aufgezogenen Uhr. Setzen wir z. B. eine Pendeluhr in Gang, ohne das Werk aufzuziehen, so wird deren Pendeln nach einigen Schwingungen allmählich infolge der durch die Lager- und Luftreibung hervorgerufenen Verluste schwächer und schwächer werden und schließlich aufhören. Ziehen wir aber den Antriebsmechanismus auf, so werden die auftretenden Verluste des Pendels im richtigen Augenblick vom Antriebsmechanismus mittels des Steigrades ersetzt. Jetzt behalten die Pendelausschläge ihre Weite — oder wie man das fachlich nennt —





Amplitude (größte Schwingungsweite) bei und die Uhr schwingt, solange die Federkraft ausreicht, immerfort in gleichmäßigem Tempo. Sie vollbringt ungedämpfte Schwingungen. So etwas wie das mechanische Echappement bei den Uhren müßte auch bei den elektrischen Schwingungen gefunden werden. Nikola Tesla erkannte schon die Nachteile der gedämpften elektrischen Wellen, denn die Reichweite solcher Sender ist weitaus geringer, als sie sein sollte, was durch die langen Stoßpausen erklärlich ist, und er baute im Jahre 1892 die erste Hochfrequenzdynamomaschine, welche in der Lage war, 10.000 Schwingungen in der Sekunde zu erzeugen, also 10.000 Hertz. Das entspräche nach dem, was wir bereits gelernt haben, einer Wellenlänge von genau 30.000 m, also einer sehr langen Welle.

Es wird bestimmt aufgefallen sein, daß nicht alle Uhren gleich schnell ticken, kleine Damenuhren schnelleren Gang haben als Weckeruhren, kleine Pendeluhren schneller schwingen als große Standuhren, und bei nähe-

rer Betrachtung konnte man sehen, daß kurze Pendel rascher schwingen als lange.

Man muß auch bei der Erzeugung von elektrischen Schwingungen, da wir schon von kurzen, normalen und langen Wellen gesprochen haben, willkürlich die Schwingungszahlen ändern können. Ein längeres Pendel schwingt langsamer als ein kurzes, sagten wir, also die der Masse des Pendels innewohnende Energie der Lage braucht längere Zeit, bis der Nullpunkt erreicht wird. Infolge der Trägheit der Masse bleibt aber unser Pendel in der Nullage nicht stehen, sondern schwingt durch nach der anderen Seite auf nahezu gleiche Höhe, bleibt eine kurze Zeit stehen und bewegt sich wieder in der Richtung zum Nullpunkt, also in umgekehrter Richtung. Genau so spielte sich der Vorgang der Funkenentladung bei unserem elektrischen Schwingungserzeuger ab. Wir sagten, die Elektronen fluteten hin und her, bis der Vorgang infolge der Verluste zu Null ward. Gibt es vielleicht im elektrischen Sinne auch etwas, das die Dauer der Entladungen beeinflussen könnte? Und schon bekommen wir die Antwort: ja. Die an einem Pol der Funkenstrecke angehäuften Elektronen müssen zuerst alle zum anderen Pol hinüberfließen. Das nimmt eine bestimmte Zeit in Anspruch. Wenn wir irgendwie eine noch größere Elektronenmenge anhäuften, dauerte es länger, bis alle hinüberkommen. Wir müssen die Elektronen dichter verstauen, verdichten, kondensieren. Wir benützen dazu unseren alten Bekannten, den elektrischen Kondensator, von dem wir schon in der Mittelschule gehört haben, nur haben wir ihn damals als unwichtig beiseitegeschoben. Das ist wohl der einfachste Apparat, den es überhaupt gibt, und er ist schon sehr alt. Benjamin Franklin hat ihn schon gebaut und er ist auch manchmal als Franklinsche Tafel in den Physikbüchern abgebildet und beschrieben. Der Kondensator besteht aus zwei Metallplatten, die einander gegenüberstehen, gut voneinander isoliert sind und als Zwischenlage entweder Luft, Glas, Glimmer, Papier oder sonst einen Stoff haben. Ladet

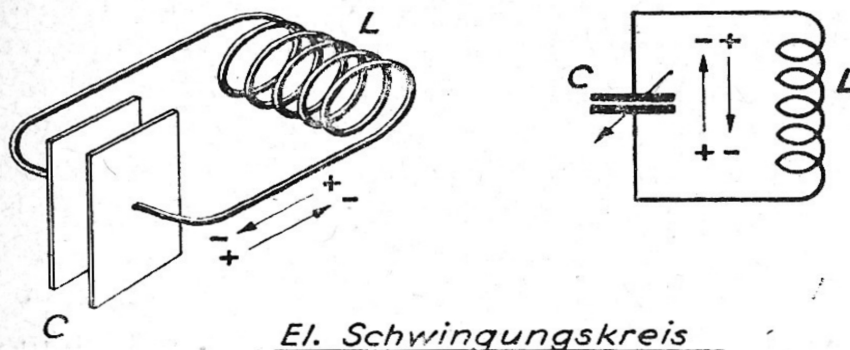
2*

man die eine Platte negativ elektrisch auf, so werden in der anderen, gegenüberliegenden Platte alle freien Elektronen davonlaufen, also sich an der der geladenen Platte abgekehrten Seite versammeln und die der geladenen Platte zugekehrte Seite erschiene jetzt positiv elektrisch geladen und übte eine anziehende Wirkung auf die Elektronenladung aus. Damit ist aber auf der bereits geladenen Platte Platz für weitere Elektronen geschaffen, ihr elektrisches Fassungsvermögen ist anscheinend vergrößert worden. Bringen wir die beiden Platten auf die halbe ursprüngliche Entfernung, so wird die Anziehungskraft, wie wir bereits gehört haben, viermal so groß werden und ihr Fassungsvermögen doppelt so groß. Es ist klar, daß große Platten den Elektronen mehr Platz bieten als kleine. Damit haben wir im wesentlichen gezeigt, wovon das elektrische Fassungsvermögen eines elektrischen Kondensators, Kapazität genannt, abhängt. Also wiederholen wir: von der wirksamen Oberfläche der Platten und von ihrem Abstand, wobei es nicht gleichgültig ist, ob sich zwischen den Platten Luft oder irgendein anderer Stoff befindet. Stoffe wie Glas, Glimmer, Colit usw. verdichten wesentlich mehr, „Condensa" beispielsweise kann die Kapazität hundertfach vergrößern, Glimmer dagegen nur achtfach. Die geringsten Verluste weist natürlich die Luft auf.

Laden wir einen Kondensator voll auf und bringen wir ihn über eine Funkenstrecke zur Entladung, so wird erstens ein kräftiger Funke entstehen und die Dauer der einzelnen Funken wird um so länger sein, je größer die Kapazität des Kondensators ist; das heißt, mit kleinen Kapazitäten kann man schnelle Schwingungen und mit großen langsamere erzeugen. So ist es wirklich, und wenn wir die Größe der Kapazität irgendwie veränderlich ausführen, indem wir den Plattenabstand oder die wirksame Oberfläche verändern, so haben wir damit ein Mittel in der Hand, die Zahl der Schwingungen in der Sekunde innerhalb gewisser Grenzen zu verändern.

Wir brauchen nur noch so etwas wie die Trägheit der

Masse bei unserem Pendelvergleich und dann können wir ein richtiges elektrisches Pendel herstellen. Auch das ist uns bekannt. Wir wissen, daß sich die Elektronen viel schneller durch gerade ausgestreckte Drähte durchjagen lassen als durch gewickelte. Da stoßen sie auf größere Hindernisse. Spulen verlangsamen die Laufzeit der Elektronen, wie die Länge des Pendels die der Uhr. Wenn aber die Elektronen durch eine Spule durchgelaufen sind, dann wollen sie sich nicht gleich beruhigen, sondern laufen noch eine Zeit im gleichen Sinne weiter. Die Elektronen haben jetzt einen Schwung, der um so größer ist, je größer die Windungszahl der Spule ist.



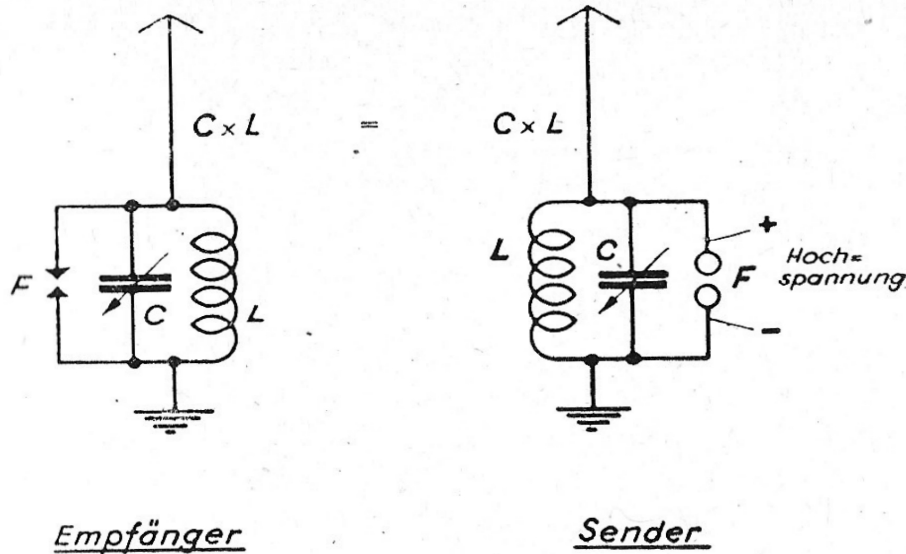
El. Schwingungskreis

Verbinden wir nun einen geladenen Kondensator mit einer Spule, so werden sich die Elektronen über die Spule ausgleichen können und infolge der Trägheit der Spule wird eine Menge der in der Spule enthaltenen freien Elektronen auf die andere Kondensatorplatte gelangen. Das bedeutet, die andere Platte bekommt jetzt einen Elektronenüberschuß, sie wird negativ geladen. Nun erfolgt die abermalige Entladung im umgekehrten Sinne usw. Ist das nicht ein elektrisches Pendel, Spule und Kondensator zusammengeschaltet? Es könnte natürlich jemand fragen, wieso unsere Funkenstrecke früher solche Eigenschaften hatte wie jetzt die Spule-Kondensator-Kombination, denn dort hatten wir keine Spule und

keinen Kondensator. Die Antwort ist sehr einfach und einleuchtend. Jedes Stück Draht, wenn es auch noch so kurz ist, kann als ein Teil unserer Spule aufgefaßt werden und besitzt einen bestimmten Betrag der Selbstinduktion, ebenso besitzt jedes Stück Draht die Eigenschaft, eine gewisse Menge Elektronen aufnehmen zu können und als Kondensator zu wirken, stellt also wieder ein elektrisches Pendel oder, technisch ausgedrückt, einen elektrischen Schwingungskreis dar.

Jetzt wird uns klar, wenn wir in unseren Radioapparat hineinschauen, warum manche Spulen wenige, andere dagegen viele Windungen haben und wozu wir beim Einstellen auf verschiedene Stationen mittels des Drehknopfes die Plattenpakete des veränderlichen Kondensators, Drehkondensator genannt, mehr oder weniger in Eingriff bringen müssen. Wiederholen wir das Gehörte, so kommen wir zu dem Schluß, daß die Spulen mit wenigen Windungen schnelle Umladungen des Kondensators ermöglichen, die um so schneller werden, je geringer der Eingriff der Platten ist, also je kleiner die Kapazität des Kondensators ist. Schnelle Schwingungen sind Schwingungen hoher Frequenz, also kurze Wellen, langsamere Umladungen längere Wellen. Jetzt ist uns auch klar, daß wir mit Drehkondensatoren bestimmter Variationsmöglichkeiten auch nur ganz bestimmte Frequenzbereiche bestreichen können; falls wir noch weitere Wellenbereiche haben wollen, müssen wir die Windungszahl der Spulen ändern. Das machen wir auch, wenn wir unseren Radioapparat vom Kurz- auf den Mittel- oder Langwellenbereich umschalten. Es wird eine immer größere Windungszahl dem dazugehörigen Drehkondensator parallelgeschaltet.

Wird ein Ende des Schwingungskreises mit einer Antenne verbunden, das andere mit der Erde, so daß die Erregerfunkenstrecke parallel zum Drehkondensator zu liegen kommt, so wird auf diese Weise die Möglichkeit geschaffen, einen Schwingungserzeuger zu haben, dessen Frequenzen mittels des Drehkondensators einstellbar sind.



Z. B. von 1500 kHz bis 500 kHz, das würde genau unserem Normalwellenband entsprechen, von 200 bis 600 m.

Stellen wir einen genau gleich aufgebauten Schwingungskreis unweit des ersten, welcher durch die Funkenstrecke erregt wird, auf, so wird der zweite Schwingungskreis, falls wir seinen Drehkondensator langsam durchdrehen, bei der Stelle, wo die Kapazitäten gleich werden, ohne mit dem ersten in Verbindung zu sein, von selbst in erregten Zustand geraten. Man wird, falls man die am zweiten Schwingungskreis angebaute kleine Funkenstrecke sehr fein einstellbar ausführt, im Falle der Gleichheit der Kapazitäten kleine Funken nachweisen können, die nur dann und nur solange auftreten werden, solange die Erregung des ersten Schwingungskreises dauert. Es versteht sich von selbst, daß beim zweiten Schwingungskreis die Spulenwindungen und Antennenlängen auch gleich sein müssen, denn nur dann wird eine genaue Gleichheit derselben Größe der Kapazität im Kreise zwei herrschen. Bedeutsam ist, daß das Auftreten der Funken im Kreise zwei auch dann erreichbar ist, wenn die Spule etwas kleiner oder größer ist; es wird in einem

solchen Falle nötig sein, die Größe der Kapazität der der Spule anzupassen. Ist die Spule etwas kleiner, so muß die Kapazität des Kondensators größer gewählt werden und umgekehrt. Auf alle Fälle muß das Produkt aus beiden elektrischen Größen gleich sein, also die Größe der Kapazität, welche man mit „C“ zu bezeichnen pflegt, wird multipliziert mit der Größe der Spule, welche man mit „L“ bezeichnet. C mal L im ersten Kreise muß gleich sein dem Produkt aus C und L im zweiten Kreis. Trifft dies zu, so sagt man, daß sich der zweite Kreis in Resonanz mit dem ersten befindet. Das ist eine Naturerscheinung, der wir die ganze Radio- und Hochfrequenztechnik zu verdanken haben. Während in einer nicht abgestimmten Antenne gleichzeitig alle Sender, deren Kraftfeld bis zu ihr reicht, Spannungen induzieren und alle Darbietungen durcheinanderschwirren, so wird durch die Einführung des abstimmbaren Schwingungskreises und Ausnützung der Resonanzerscheinung jeweils gerade der Sender bevorzugt herausgeschält, auf den die Anlage abgestimmt ist, und er wird besonders starke Induktionsspannungen hervorrufen. Dieser Bevorzugung der einen Frequenz im Resonanzfall verdanken wir die Senderwahl, die je nach dem, ob wir einmal oder mehrere Male aussieben, bessere oder weniger gute Trennschärfe ergibt. Auf alle Fälle ist eine mehrfache Siebung mittels mehrerer gleichzeitig abgestimmter Schwingungskreise mit höherer Trennschärfe verbunden, weshalb auch beim Anbieten des Radioapparates immer von der Zahl der jeweils angewandten Kreise gesprochen wird. Ein Zweikreiser ist immer weniger trennscharf als ein Vierkreisempfänger. Die einfachen Empfangsgeräte begnügen sich mit einem einzigen Abstimmkreis. So sind alle Kleinempfänger und alle Zweiröhrenapparate gebaut und führen die Bezeichnung Einkreiser. Damit soll aber nicht gesagt sein, daß Einkreisempfänger schlecht sind und alle Sender durcheinandermischen, denn auch hier haben Techniker Mittel und Wege gefunden, aus wenig viel zu schaffen.

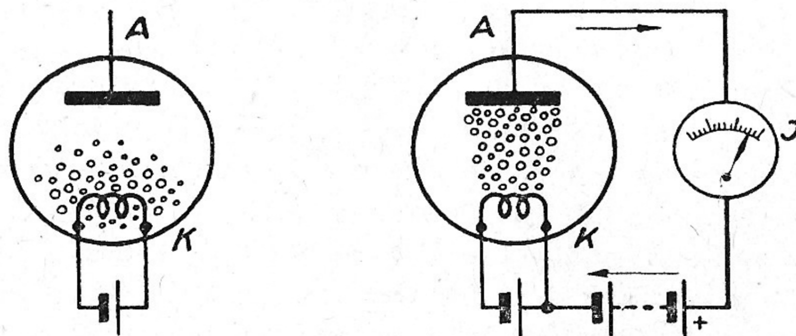
Wir kamen so ungewollt im Gespräch vom Sender

zum Empfänger und wollen wiederholend feststellen, daß beide im Wesen Schwingungskreise besitzen müssen und in beiden Fällen eine Antenne mitverwendet wird. Nur die Funktion ist nicht die gleiche. Während sendeseitig der Schwingungskreis künstlich auf irgendeine Art erregt wird und mit ihm die Antenne, deren Aufgabe es ist, die elektromagnetischen Schwingungen dem Raume anzuvertrauen, auszustrahlen und so ein möglichst weitreichendes elektrisches Kraftfeld herzustellen, ist bei der Empfangsanlage der Vorgang umgekehrt. Hier besteht die Aufgabe der Antenne darin, möglichst viel vom Kraftfeld des Senders aufzufangen und so möglichst stark den Empfangsschwingungskreis anzustoßen. Jetzt wird klar, daß kleine Antennen, Zimmerantennen oder sonstige Behelfsantennen niemals einen wirklich einwandfreien Empfang geben können. Die Antenne muß frei und möglichst hoch verlegt werden, denn nur dann wird sie, am meisten vom an und für sich schwachen Kraftfeld des entfernten Senders beeinflußt, die größte Lautstärke ergeben. Die Höhe vom Erdboden ist maßgebend, denn nur dann greifen viele Kraftlinien die Antenne an und ihre Anzahl steigt mit der Antennenhöhe. Nicht umsonst sagte ein bekannter englischer Radiofachmann: „Eine gute Antenne ist mehr wert als eine Röhre mehr im Empfänger.“

Wir haben schon allerlei von den Radiowellen gehört, wir wissen, daß sie überall, wo es funkt, entstehen, also beim Auf- und Abdrehen eines Lichtschalters, beim Betätigen einer elektrischen Türklingel, beim Laufen eines Staubsaugers oder eines sonstigen Motors, nur in allen als Beispiel angeführten Fällen als eine ungewollte Nebenerscheinung, welche uns zur Genüge in der Gestalt krachender Störungen bekannt ist. Um Musik und Sprache mittels Radiowellen übertragen zu können, brauchen wir andere Methoden als gerade die Funkenentladungen, welche erstens, wie wir schon wissen, stoßartig wirken, und zweitens gedämpfte Schwingungen zur Folge haben und von selbst schon rauschende und

krachende Geräusche im Empfänger erzeugen. Wir brauchen gleichmäßige Radiowellen, die, wenn im Sender nicht gesungen oder gesprochen wird, unhörbar bleiben. Nur dann kann man ihnen auch die zartesten Pianissimi einer Symphonie oder eines schwierigen musikalischen Gebildes zur getreuen Übertragung anvertrauen. Dazu sind ungedämpfte elektrische Schwingungen nötig, Schwingungen, deren Amplituden im unbesprochenen Zustand gleich hoch bleiben. Es gibt verschiedene Wege, die zu diesem Ziele führen, aber das Radio konnte erst dann so richtig Verbreitung finden, als die Radioröhre erfunden war. Mit Hilfe von Radioröhren lassen sich am einfachsten und sichersten ungedämpfte elektrische Schwingungen erzeugen und ebenso empfangen. Die Geburtsstunde der praktischen Radiotechnik war also mit der Erfindung der Radio- oder Verstärkerröhre gekommen, die gleichzeitig in Europa, und zwar gerade in Wien von Robert v. Lieben, und unabhängig davon in Amerika von Lee Forest erfunden wurde.

Ich weiß, daß sich die meisten Leute etwas besonders Kompliziertes und Unverständliches unter einer Radioröhre vorstellen, dabei ist ihre Wirkungsweise, oder anders ausgedrückt, ihre Mechanik einfacher als bei manchem anderen elektrischen Gerät. Sicherlich ist die Arbeitsweise mit unsern Sinnesorganen nicht direkt verfolgbar, aber



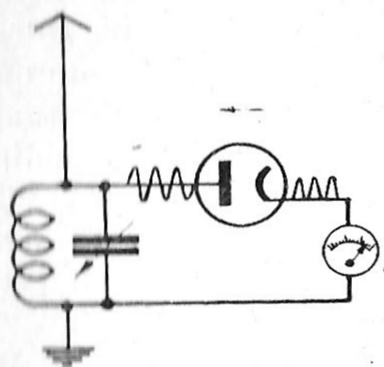
Elektronenröhre als Gleichrichter

wenn man auch nur ein wenig mit der heutigen physikalischen Auffassung zu denken vermag, muß man ihre Funktion verstehen. Eine Radioröhre besteht im wesentlichen aus einem hochevakuierten, nahezu luftleeren Glaskolben und aus einem zuerst eingeschmolzenen Glühdraht. Erhitzt man diesen Glühdraht, so wird das Molekulargefüge des Drahtes stark aufgelockert und die freien Elektronen, welche sich in reichlicher Menge zwischen den Molekülen befinden, werden aus dem Glühdraht auszutreten beginnen. Sie werden den Draht verlassen und in den luftleeren Raum austreten und das umso leichter und reichlicher, je stärker der Draht erhitzt wird. Weit kommen diese Kobolde nicht, denn sie sind alle negativ elektrisch geladen und stoßen einander gegenseitig ab. Immerhin bildet sich um den Glühdraht ein dichter Elektronenschwarm, eine Elektronenwolke aus, deren Dichte in unmittelbarer Glühdrahtnähe am größten ist und mit zunehmender Entfernung vom Glühdraht immer kleiner wird. Wird in demselben Glaskolben zunächst gegenüber dem Glühdraht eine Platte oder, um möglichst alle Elektronen zu erfassen, rund um den Glühdraht ein Metallzylinder in beil. einem Zentimeter Abstand aufgestellt und eine Zuleitung nach außen eingeschmolzen, so ist der wichtigste Schritt getan. Solange sich sonst nichts ändert, wird es einigen besonders lebhaft herausgeschossenen Elektronen gelingen, die nachbarliche Platte zu erreichen, aber immer nur den besonders schnellen, daher nur wenigen. Verbinden wir die Platte nun mit einem positiven Pol einer Spannungsquelle, z. B. einer Anodenbatterie, so werden die negativen Elektronen nunmehr lebhaft von ihr angezogen werden. Bei einer bestimmten Höhe der positiven Ladung werden sogar alle Elektronen im Blitztempo die Platte erreichen und von dort durch die Anodenbatterie zurück zum Glühdraht gelangen. Der negative Pol der Anodenbatterie muß mit dem Glühdraht in Verbindung stehen. Die Geschwindigkeit, mit der diese Kobolde durch den luftleeren Raum jagen, ist wirklich groß und beträgt bei

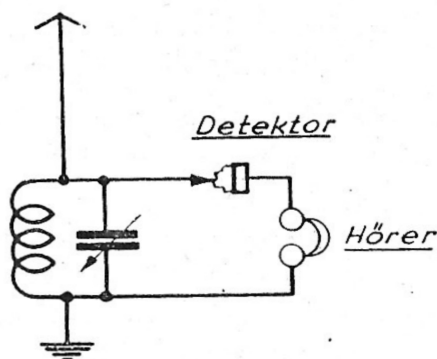
rund 100 Volt Anodenspannung ungefähr 6000 km/sec.! Schließt man die Anodenbatterie verkehrt an, also mit dem negativen Pol an die Platte, so tritt eine starke Abstoßung der Elektronen auf und es wird jeder Elektronentransport innerhalb des Vakuums unterbunden. Der Glühdraht führt den Namen Sprühpol oder Kathode und die Platte Fangpol oder Anode. Da die Hilfsspannung nur dazu dient, die Elektronen von der Kathode zur Anode zu bringen, wird sie selbst Anodenspannung und ihre Quelle Anodenbatterie genannt. Was ist aber Elektronentransport oder Elektronenfluß? Dasselbe wie elektrischer Strom. Somit fließt bei positiver Anode durch den luftleeren Raum des Glaskolbens ein elektrischer Strom ohne jede Drahtverbindung und setzt dann seinen Weg durch die Verbindungsdrähte, vielleicht einen Strommesser J zur Anodenbatterie und zur Kathode fort. Damit ist der Kreislauf des Stromes geschlossen, aber nur, wenn die Kathode glüht. Bei kalter Kathode geschieht gar nichts. Deshalb braucht jeder Radioapparat eine Heizstromquelle und eine Anodenspannungsquelle. Wir haben vorhin von einem Strommesser gesprochen. Jeder Strommesser ist eigentlich ein Elektronenzähler. Oder wissen Sie vielleicht, daß, wenn durch eine Glühlampe oder sonst einen elektrischen Apparat ein Strom von einem Ampere fließt, 6300 Billionen Elektronen befördert werden? — Eine beträchtliche Zahl.

Würde man an die Anode-Kathode statt einer Gleichspannung eine Wechselspannung beliebiger Frequenz legen, so wird nur dann, wenn die Anode positiv wird, ein Elektronentransport stattfinden, die andern Halbperioden bleiben unberücksichtigt und unser nur für Gleichstrom geeignetes Instrument würde Stromfluß anzeigen. Aus Wechselstrom wird Gleichstrom, das ist der erste Streich, den die Elektronen in einer Hochvakuumröhre machen. Danach könnten wir nun bei unserm alten Empfänger an Stelle der kleinen Funkenstrecke als Anzeiger eine soeben beschriebene Zweipolröhre einschalten

und mit einem Meßinstrument das Vorhandensein von Wellen genau und leicht nachweisen. Merken wir uns das gut! Die Hochvakuumröhre mit einer Kathode und einer Anode wirkt als Ventil, läßt den elektrischen Strom nur in einer Richtung durch, verwandelt Wechselströme in Gleichströme, ist also ein idealer Gleichrichter. Wie wir gesehen haben, kann man mittels eines solchen Gleichrichters das Vorhandensein elektrischer Wellen entdecken und nachweisen, ja sogar ihre Stärke messen, deshalb auch die Fachbezeichnung Detektorröhre. Das



Röhre als Detektor



Kristalldetektor

Radio- Empfänger

Wort stammt aus dem lateinischen detecto und heißt entdecken, also eine solche Röhre ist ein Detektiv für Radiowellen. Wir kennen aber auch andere kleine Dinger mit einem glänzenden Stein und einer feinen Drahtspitze, die auch Detektoren heißen. Sind das am Ende auch Gleichrichter? Die Antwort ist eindeutig positiv. Es sind winzige Kristall-Metallgleichrichter, die bei einfachsten Radioempfängern, und bevor noch die Röhren erfunden waren, einzig und allein als Wellenentdecker arbeiteten, sogar bei den großen Übersee-Empfangsanlagen. Ein solcher Detektorapparat benötigt gar keine Batterien, ist

immer empfangsbereit und ist das einfachste Empfangsgerät, das man sich vorstellen kann. Er besteht aus einer Spule, dem Abstimmkondensator, dem Detektor und dem Kopfhörer. Er muß eine gute Antenne haben und mit jenem winzigen Bruchteil von Energie auskommen, der vom Sender bis zur Empfangsantenne als Strahlung gelangt. Daß damit ein Lautsprecher nicht betrieben werden kann, ist klar.

Wenn auch die uns bereits bekannt gewordene Zweipolröhre sehr wertvoll ist und in einem heutigen Radioapparat mindestens zweimal angewandt wird, so ist sie in der einfachsten Form noch immer ein unvollkommenes Ding. Erst durch die Erfindung Robert v. Liebens, durch das Einführen noch einer Elektrode zwischen Anode und Kathode erreichte die Röhre ihre besondere Bedeutung. Bringt man nämlich in unmittelbarer Nähe der glühenden Kathode ein Drahtgitter an und führt einen Anschlußdraht nach außen, so werden die aus der Kathode austretenden Elektronen nahezu ungehindert zur positiven Anode gelangen; nur wenige werden durch die Gittermaschen abgeschattet. Vorläufig bleibt alles beim alten, aber sobald man dieses Drahtgitter ganz wenig negativelektrisch auflädt, werden infolge der großen Nähe des Gitters schon mit wenigen Volt Spannung alle Elektronen zurückgedrängt werden und kein einziges wird die Anode erreichen können, oder falls wir dem Gitter eine in Bezug auf die Kathode positive Spannung verleihen, werden die Elektronen noch kräftiger von der Kathode losgerissen und eine größere Zahl wird zur Anode gelangen. Wir wollen feststellen: kleine Gitterspannungsschwankungen rufen große Elektronenstromschwankungen hervor und all das ohne Leistungsaufwand. Man steuert die Elektronenmenge mit Hilfe des Gitters vollkommen leistungslos. Man braucht allerdings, um diesen Effekt zu erzielen, eine Heizstromquelle und eine Anodenspannungsquelle, aber man nimmt das gerne in Kauf, wenn man dadurch in die Lage versetzt wird, auch die schwächsten ankommenden Signale eines Senders so weit zu verstärken,

daß auch ganz große Räume mit Musik oder Sprache versorgt werden können. Die Röhre mit dem Gitter ist ein wirkliches Wunderding, sie verstärkt die ganz schwachen Signale, und wenn uns die Anwendung einer Röhre nicht ausreicht, dann nimmt man noch eine und noch eine usw., bis wir jene Stufe der Verstärkung erreichen, die notwendig ist. Eigentlich könnte man jeden Grad der Verstärkung erreichen, aber die Natur hat auch hier Grenzen gesetzt, damit wir nicht allzu hellhörig werden. Bei Verstärkungen von 20 Millionen aufwärts würde man auch ohne jedes Signal ein ständiges sehr starkes, ungleichmäßiges Rauschen hören, sobald man an das Gitter der ersten Röhre eine Spule oder irgendeine Metallverbindung anschließt. Die Materie ruht niemals. Die freien Elektronen, die zwischen den Molekülen des Kupfers vorhanden sind, befinden sich bei normalen Temperaturen in ständiger ungleichmäßiger Bewegung und diese äußert sich als ständige elektrische Ladungsschwankung des Steuergitters. Das hat eine entsprechende Anodenstromschwankung zur Folge, die sich am Ende als kräftiges Rauschen und Prasseln bemerkbar macht, und alle Signale, die schwächere oder gleichstarke Spannungen an das Gitter der ersten Röhre bringen, würden im Rauschen der durch Temperaturschwankungen hervorgerufenen Elektronenbewegung untergehen und unhörbar bleiben.

Die Röhre als Verstärker hat in einer besonderen Schaltung, welche auch die Erfindung eines Wieners, Dr. Meissners ist, die Fähigkeit, die im Schwingungskreis einmal angefachten Schwingungen aufrecht zu erhalten und alle Ursachen der Dämpfung, also alle Verluste, aus der Anodenspannungsquelle zu decken und so einen idealen Schwingungserzeuger für ungedämpfte elektrische Wellen darzustellen.

Nirgendsmehr werden heute Funkenentladungen als Schwingungserzeuger verwendet, es sei denn, daß gerade diese Art der Schwingungen gewünscht wird, und alle Radiosender der Welt, ob klein oder groß, bedienen sich heute ausschließlich der Verstärkerröhre als Schwin-

gungserzeuger und Verstärker. Gefunkt wird nirgends, und wenn es einmal bei einem Sender zu funken beginnt, dann muß der Sender raschest repariert werden. Ich finde die Bezeichnung Rundfunk oder Funk geradezu sinnentstellend. Bleiben wir lieber bei der sinnvollen Bezeichnung Radio-Gerät, Radio-Sendung oder Radio-Technik, denn im Worte Radio (abgeleitet vom lateinischen r a d i u s gleich S t r a h l) liegt die bezeichnende Erklärung. Radiowellen werden von der Sendeantenne ausgestrahlt, ihre Strahlung wandert durch den Raum, ja bis zu den anderen Planeten und, was unsere Empfangsantenne erregt, sind die vom Sender ausgestrahlten Wellen.

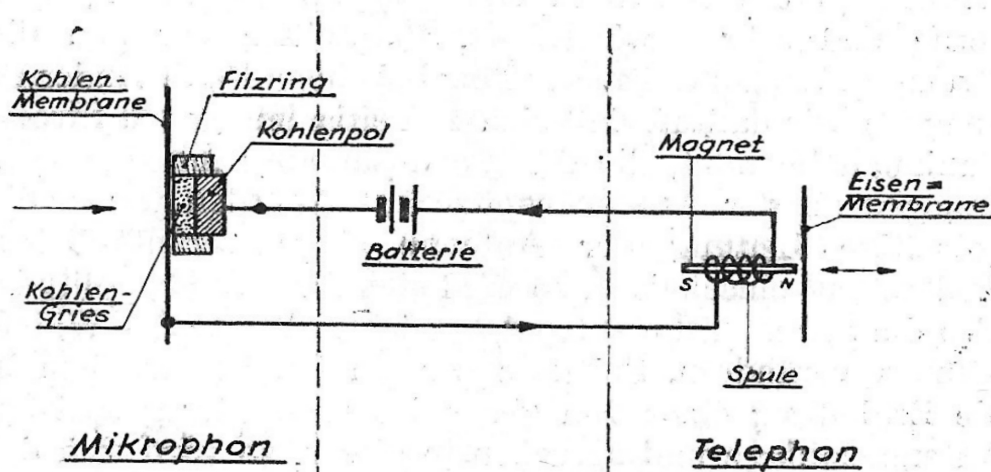
Die in unseren heutigen Empfängern benützten Röhren haben meist mehr als ein einziges Gitter eingebaut. Im Laufe der letzten 18 Jahre hat die Entwicklung der Röhrentechnik riesige Fortschritte gemacht. Diese kleinen gläsernen Zauberkugeln enthalten in ihrem Innern wahre Kunstwerke der Präzisionsmechanik, manchmal bis zu sechs Gittern übereinander, arbeiten mit äußerster Genauigkeit und liefern manchmal in einer einzigen Stufe bis zu 5000fache Verstärkung. Trotz den vielen Gittern in den heutigen Radioröhren — meist sind es drei — bleibt das Wesen ganz gleich dem von uns besprochenen, also immer wieder A n z i e h u n g oder A b s t o ß u n g der negativen Elektronen.

Ob die emittierende Kathode gleichzeitig der Heizdraht ist oder ob der Heizdraht erst die Kathode mittelbar in Glutzustand zu versetzen hat, bleibt im Wesen gleich. Für Netzempfänger benützt man heutzutage nahezu ausschließlich indirekt geheizte Röhren, für Batteriebetrieb direkt geheizte.

Wir wissen alle, daß Laute, Geräusche, Musik und Sprache Luftschwingungen sind, und fragen uns mit Recht, wie man mittels Luftschwingungen die Radiowellen eines Senders beeinflussen kann. Auf direktem Wege nicht. Wir müssen uns zuerst eines Zwischengliedes bedienen. Wenn Sie mit Ihren Freunden telephonieren,

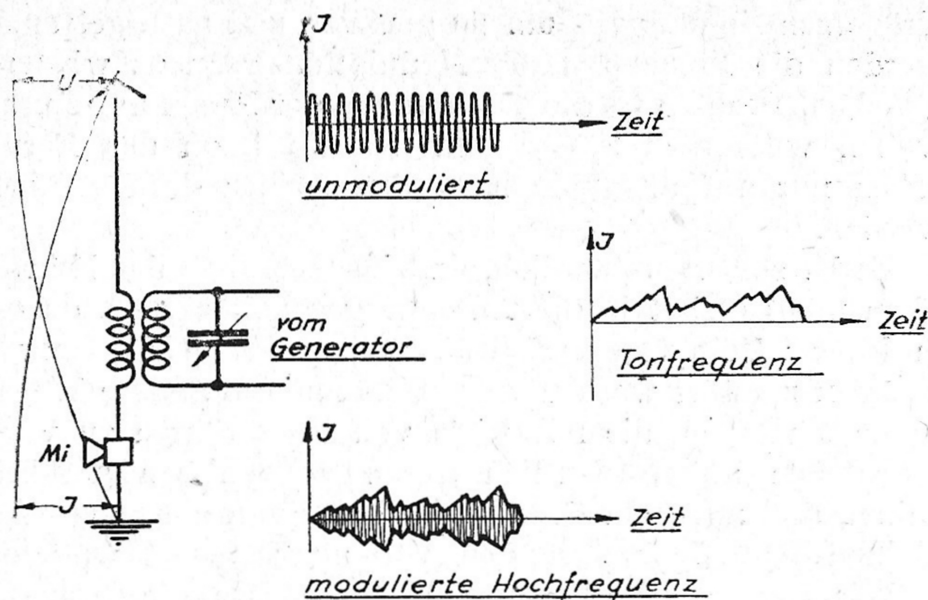
dann sprechen Sie in so ein komisches schwarzes Ding mit Löchern hinein und am anderen Ende der Leitung — vielleicht sogar in einer anderen Stadt — hört Sie der Freund wieder aus so einem ähnlichen kleinen Ding sprechen. Die wenigsten Leute der Jetztzeit zerbrechen sich darüber den Kopf, wie solch ein Gespräch überhaupt zustande kommt. Man spricht einfach, und wenn man schlecht hört oder schlecht gehört wird, ärgert man sich und schimpft über die Unvollkommenheit oder Unverläßlichkeit so einer technischen Erfindung.

Das kleine schwarze Ding, in welches man spricht, heißt Mikrophon, ist also etwas, das auf sehr schwache Laute oder Töne anspricht. Das tut es auch, selbst wenn eine Fliege über seinen Bauch schreitet, erzeugt das Mikrophon gut nachweisbare Stromschwankungen im nachgeschalteten Kopftelephon. Ein Mikrophon besteht, kurz gesagt, aus einer lockeren Kontaktstelle. Zwischen einer dünnen Kohlenmembrane und einem Kohlenklotz ist feiner Kohlengrieß gelagert. Damit er nicht zerstreut wird, ist er von einem an die Kohlenmembrane leicht angepreßten Filzring umgeben und geschützt. Schaltet man nun in Reihe mit einem Telephon ein Mikrophon und eine Batterie, so wird, solange alles ruhig ist, im Telephon kaum etwas zu hören sein. Von der Batterie schieben sich



die Elektronen zum Kohlenklotz, dann über die locker liegenden Kohlenkörnchen zur Kohlenmembrane, von dort über die lange Leitung zum weit entfernten Telephon und von dort zur Batterie zurück. Sprechen wir nun gegen die Membrane des Mikrophons, so werden die Luftschwingungen die Kohlenmembrane mehr oder weniger durchbiegen und dadurch die locker liegenden Kohlengrießkörnchen mehr oder weniger zusammenpressen und den elektrischen Widerstand zwischen der Membrane und dem Kohlenklotz verändern. Das wird wieder zur Folge haben, daß sich die Stromstärke im Kreise verändern und die Eisenmembrane des Telephons in entsprechende Schwingungen versetzen wird, die ihrerseits die sie umgebende Luft in Bewegung versetzen und dadurch Töne oder Laute erzeugen. Wir sahen, wie einfach sich eine Luftschwingung, die wir als Ton oder Sprache hören, in elektrische Schwankungen des Stromes verwandeln läßt, welche mittels des Telephons wieder in Luftschwingungen zurückverwandelt werden können.

Wollen wir nun einen Radiosender mit Sprache oder Musik beaufschlagen, so muß man von folgendem Standpunkt ausgehen. Erstens brauchen wir dazu einen Sender, der ungedämpfte elektrische Schwingungen erzeugt, deren Amplituden immer gleich hoch sind. Diesen Wunsch erfüllt uns die Röhre in Rückkopplungsschaltung sehr gerne und sehr gewissenhaft. Betrachten wir nun die Strom- und Spannungsverteilung bei einem Radiosender, so kommen wir darauf, daß sich erdseitig immer ein Strommaximum befindet, die Antennenspannung ihr Maximum dagegen an der Antennenspitze hat. Würden wir in die erdseitige Leitung der Antenne einen veränderlichen Widerstand einschalten, so wird sich die Grundamplitude, also die Stromstärke entsprechend dem Werte des Widerstandes verändern. Schalten wir ein Kohlemikrophon in die Erdleitung einer von einem Röhrensender gespeisten Antennenanlage und sprechen in dieses, so wird sich der Antennengesamtwiderstand im Rhythmus der Sprache



und Musik ändern. Das hat zur Folge, daß der Antennenstrom ebenfalls in gleichem Maße schwanken wird und die unbesprochenen, gleich hohen Amplituden entsprechend verkürzt werden. Das Ergebnis sind wieder hochfrequente Schwingungen, deren Amplituden durch das Besprechen des Mikrophons, also in tonfrequentem Tempo symmetrisch um den Nullwert mehr oder weniger verkürzt werden. Hört die Besprechung auf, so strahlt der Sender wie vor der Besprechung gleichmäßige Radiowellen aus. Den Besprechungsvorgang eines Radiosenders nennt man Modulation, und da bei der Besprechung, wie wir bereits gehört haben, die Amplituden im Rhythmus der Tonfrequenz geändert werden, nennt man diese Art der Modulation Amplitudenmodulation. Das ist die verbreitetste Art der Modulation, die mit allen normalen Empfangsgeräten empfangen werden kann. Die unbesprochene Schwingung nennt man den Träger oder die Trägerfrequenz, auf deren Rücken sich die Sprache, Musik oder sonstige Darbietung abwickelt und als die Umhüllung der raschen hochfrequenten Schwingungen erscheint. Je höher die Frequenz der

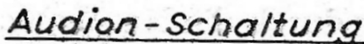
Trägerschwingung ist, um so genauer und naturgetreuer werden die Feinheiten der Modulationsfrequenz wiedergegeben. Deshalb ist die Wiedergabe der Musik auf Kurzwellen wesentlich besser und deshalb kann das Fernsehen nur auf ultrakurzen Wellen richtig durchgeführt werden.

Es ist selbstverständlich, daß im Gebrauch das Mikrophon nicht direkt in die Antenne geschaltet wird, da es in kurzer Zeit von verhältnismäßig starken Antennenströmen zerstört werden würde. Es mußten andere Wege gesucht werden, die mit Hilfe von Radioröhren zu verschiedenen außerordentlich guten Ergebnissen geführt haben, und auch ein Großsender kann von einem winzig kleinen Knopflochmikrophon voll ausgesteuert werden.

Wir sagten, die Modulation beeinflusse die Trägerwelle symmetrisch um den Nullwert. Es bildet sich danach eine auf beiden Seiten, von der Nullinie aus gesehen, spiegelbildliche Verformung der Schwingungsspitzen. Trifft nun eine solche modulierte Welle auf unsere Empfangsantenne und wird sie ein- oder mehrfach mittels Radioröhren verstärkt, so wird unser Kopftelephon (der Lautsprecher) im Ausgangskreis keinen Ton von sich geben. Die Membrane, welche nur auf verhältnismäßig langsame hörbare Schwingungen ansprechen kann, weiß infolge der symmetrischen Verformung der Trägerfrequenz nicht, auf welche Seite sie ausschwingen soll. Besser gesagt, sie kann auf keine Seite ausschwingen, da sich die wirksamen Kräfte infolge der gegenseitigen Richtung aufheben. Deshalb muß man empfangsseitig die Symmetrie der Modulation zerstören, wenn man der empfangenen und verstärkten Welle die ihr anvertraute Sprache oder Musik entlocken will. Nichts ist leichter als das. Lassen wir eine modulierte Radiowelle durch eine Vorrichtung laufen, die nur die eine Seite der Schwingungen durchläßt, und das möglichst genau. Solche Vorrichtungen sind uns schon bekannt. Das ist einmal der bereits erwähnte Wellenentdecker, Detektor, oder eine nur aus Anode und Kathode bestehende Radio-

röhre, die für diesen Fall keiner Anodenspannung bedarf. Werden die nun genügend hoch verstärkten modulierten Hochfrequenzschwingungen erst über eine solche Zweipolröhre, oder technisch gesagt, Diode zum Kopftelephon oder Lautsprecher geleitet, so werden die hochfrequenten Impulse nur in einer Richtung, also von der Kathode zur Anode, die Elektronen durchjagen können. Die Membrane braucht jetzt nicht den einzelnen gleichgerichteten Impulsen zu folgen, sondern bloß der Umhüllung der Impulse, die sich als schwankender Gleichstrom äußert. Wir mußten, mit einem Wort gesagt, die modulierte Hochfrequenz *gleichrichten*, um die Modulation hörbar werden zu lassen. Diesen Vorgang nennt man *Demodulation*. Daher muß jeder Radioempfänger, ganz gleich, ob er mit oder ohne Röhren arbeitet, einen Demodulator haben, der entweder ein Kristalldetektor oder eine Diode sein kann.

Sie haben bestimmt oft vom Audion gehört oder vom Schwingaudiom, wie sie in einfachen Zwei- oder Dreiröhrenapparaten mit Vorliebe auch heute noch verwendet werden. Es ist eine sehr einfache und äußerst sinnreiche Anwendung einer Verstärkerröhre als Demodula-


Audion-Schaltung

tor und als Verstärker in einem. Sehen wir uns so ein kleines Wunderding genauer an. Dabei muß ich betonen, daß das Audion eine der dankbarsten und leistungsfähigsten Schaltungen der Radiotechnik ist, die uns überhaupt bekannt sind. Als Schwingaudion ist seine Empfindlichkeit und seine Trennschärfe sehr groß, trotz dem einzigen Abstimmungskreis, und in der Hand eines Geübten kann so ein Empfänger auf allen Wellenbereichen Erstaunliches hergeben. Also woraus besteht eine Audionschaltung? Zuerst einmal ein abstimmbarer Schwingungskreis, der auf die zu empfangende Station eingestellt wird. Das eine Ende des Schwingungskreises ist geerdet und steht in leitender Verbindung mit der Kathode oder dem Heizfaden. Die Antenne wird direkt oder erst über eine eigene Spule L_a mit der Schwingkreisspule L_g gekoppelt. Das zweite Ende, das nicht geerdete, das sogenannte heiße Ende des Schwingungskreises, wird erst über einen kleinen Kondensator C_g mit dem Steuergitter einer Verstärkerröhre verbunden, außerdem wird dasselbe Gitter mit der Kathode durch einen sehr hohen Widerstand R_g von ein bis drei Millionen Ohm direkt verbunden. Grundsätzlich ist es völlig gleich, ob man eine Ein- oder Mehrgitterröhre dazu verwendet. Im Anodenstromkreis liegt das Kopftelephon oder der Lautsprecher eingeschaltet. Trifft nun eine modulierte Welle ein, so wird sie als solche über den kleinen Gitterkondensator zum Gitter der Röhre gelangen. Hier angekommen, wird das Gitter abwechselnd positiv und negativ geladen. Die positiven Halbwellen werden einen Teil der Elektronen zum Gitter wandern lassen, in das Gitter eindringen und einen immer in der gleichen Richtung durch den Gitterwiderstand zur Kathode fließenden Strom verursachen. Die negativen Halbwellen bleiben gesperrt. Das Gitter und die Kathode arbeiten genau so wie eine Diode und die am Gitterwiderstand auftretende Gleichspannung wird im Rhythmus der Musik oder Sprache schwanken. Daher wird die Anzahl der durch die Maschen des Gitters hindurchgelangenden Elektronen im gleichen Rhythmus

beeinflußt und demgemäß auch der durch das Kopftelephon fließende Anodenstrom. Natürlich wird sich die Anodenstromschwankung der Verstärkerwirkung der Röhre unterordnen müssen, so daß bereits kleine Gitterspannungsschwankungen große Anodenstromschwankungen verursachen. Das Kopftelephon wird daher viel lauter ansprechen, als wenn wir nur eine Diode verwendet hätten. Führt man noch dazu einen kleinen Teil der in der Anodenleitung immer vorhandenen Hochfrequenz über eine eigene Spule L_r und einen als Regulator eingeschalteten Drehkondensator C_r mit richtiger Polung an das Gitter zurück, so kann infolge der entdämpfenden Wirkung der Rückführung der Hochfrequenz eine 20- bis 50fache Steigerung der Empfindlichkeit der Anordnung erzielt werden. Diese Rückführung der Hochfrequenz muß fein regulierbar ausgeführt werden und darf nie zu weit getrieben werden, da sonst unser Empfänger zu einem Sender wird und alle in der Nachbarschaft vorhandenen Geräte durch ein uns allen zur Genüge bekanntes Pfeifkonzert stören würde. Dieser technische Trick, dieses kleine große Geheimnis ist unter dem Namen Rückkopplung bekannt und wird in mannigfaltiger Abänderung in verschiedenen Zweigen der modernen Technik angewandt.

Es ist selbstverständlich, daß man einem solchen Audion auch eine oder mehrere Verstärkerstufen vorschalten kann und, falls uns die gewonnene Lautstärke für den Betrieb eines Lautsprechers nicht ausreicht, eine oder zwei kräftige Röhren nachgeschaltet werden können. Die zuerst erwähnten Verstärkerröhren würden die Empfindlichkeit und Trennschärfe erhöhen, die nachgeschalteten dagegen nur die abgebbare Lautstärke, also nur die Leistung. Deshalb heißt auch die letzte Röhre im Empfänger die Lautsprecherröhre oder die Leistungsröhre. Diese Röhre ist die meistbeanspruchte, sie muß viele Millionen Elektronen dauernd aus der Kathode austreten lassen und als schwankenden Lautsprecherstrom liefern, daher gehen gerade die Laut-

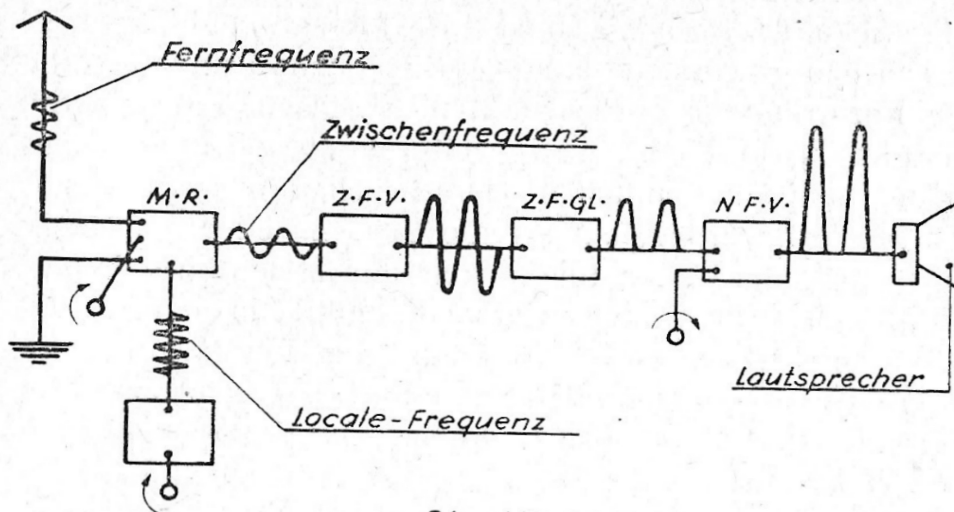
sprecherröhren am ehesten zugrunde und müssen öfters ersetzt werden, wenn man guten und klangreinen Empfang haben will.

Ein Rückkopplungsaudion oder ein mit vorgeschaltetem Hochfrequenzverstärker versehener Radioapparat verstärkt von der Antenne bis zum Demodulator (Hochfrequenzgleichrichter) die ankommende Welle in ihrer ursprünglichen Frequenz über alle Stufen, also auf geradem Weg von Stufe zu Stufe. Dazwischen liegen oft mehrere abstimmbare Schwingungskreise, die alle auf die gleiche Station abgestimmt sein müssen und so durch mehrfache Siebung die gewollte Station immer mehr und mehr von den ungewollten trennen. Solche Empfänger werden zum Unterschied von anders gebauten Geradeausempfänger genannt. Die mehrfache Siebung steigert die Trennschärfe und man könnte nach diesem Verfahren sechs oder mehr Abstimmkreise nacheinanderschalten, aber solche Geräte übertrügen in keiner Weise die an und für sich von der Sendeseite aus zugeführten Frequenzbänder richtig, sondern hüllten alles in dunkle Klangfarbe: die Geigen erklängen eher wie Flöten, Blechinstrumente verschwänden zur Gänze oder würden verfälscht wiedergegeben und die Sprache erschiene tief und unverständlich. Daher läßt sich bei dieser Art vom Empfängern bei halbwegs guter Wiedergabe und ohne allzu große Kompliziertheit höchstens eine Kreiszahl von vier erreichen. Und doch ist bei der in den letzten 15 Jahren angewachsenen Senderzahl von rund 260 Stationen im Normalwellenband allein es notwendig geworden, bei besseren Geräten höhere Trennschärfe anzustreben, als dies bloß mit vier Kreisen erreichbar ist, wobei möglichst gut Wiedergabe als Hauptziel gesetzt wurde. Mit den bis jetzt genannten Methoden geht es nicht gut, ohne die höheren Tonfrequenzen, also gerade das Eigenartige eines Instrumentes, die Obertöne, zu beschneiden. Mit mehrfach abgestimmten gekoppelten Kreisen ginge es besser, aber der Weg ist sehr schwierig, würde man immer gleiche Güte der Tonwiedergabe bei Träger-

frequenzen von 1500 kHz bis 150 kHz erreichen wollen. Unser Normalwellenbereich umfaßt genau die Frequenzen von 1500 kHz bis 500 kHz. Um möglichst vielen Sendern in Europa Platz zu machen, hat man bei der letzten internationalen Wellenverteilung dem Abstand von einer Trägerwelle zur anderen nur 9000 kHz zugebilligt. Das ist schon sehr wenig, denn es bleibt dann in Wirklichkeit nur Platz für beil. 110 Sender frei, die restlichen 150 Sendestationen mußten teils als Gemeinschaftswellen, teils als Gleichwellen verteilt werden. Das ist mit ein Grund, daß es sehr oft auch bei besten Geräten vorkommt, daß zugleich zwei verschiedene Sendungen zu hören sind. Obwohl die Gemeinschaftswellenstationen unter den europäischen Ländern so verteilt wurden, daß ihre Entfernung voneinander ziemlich groß ist, so kommt es in Mitteleuropa doch oft vor, daß Störungen dieser Art unausweichlich sind. Diesen Störungen des gleichzeitigen Doppelempfanges gesellen sich noch manche andere hinzu, so daß man bei einem solchen Doppelempfang entweder gleichmäßige Unterbrechungen oder einen gleichmäßigen Ton mitzuhören bekommt. Die Ursache der Störungen im Wellenmeer liegt darin, daß die beiden Stationen wohl zwei ganz gleiche Wellen zugewiesen bekommen haben, aber in der Praxis nicht in der Lage sind, die unbedingte Gleichheit der Trägerfrequenz durch Stunden hindurch zu halten. Schon die Erwärmung der Spulen und Kondensatoren im Betrieb ergeben geringe Abweichungen von der Sollfrequenz. Wenn z. B. die beiden auf der gleichen Trägerfrequenz arbeitenden Sender nur eine Trägerfrequenzdifferenz von vier Hz haben, so werden sich diese zwei ganz wenig verschiedenen Stationen gegenseitig beeinflussen oder, wie man es technisch richtig sagt, überlagern und in unserem Empfänger wird nebst den beiden Sendungen noch die Frequenzdifferenz, also eine viermal in der Sekunde auftretende Unterbrechung zu hören sein. Ist der Frequenzunterschied beispielsweise 160 Hz, so wird an Stelle der Unterbrechungen ein ständiges Tönen von genau 160 Hz

zu hören sein. Dieser Unterschied von nur vier Hz von der Sollfrequenz bei zwei Gleichwellensendern stellt eine sehr hohe Genauigkeit dar. Wäre diese Abweichung z. B. bei einem Sender von 300 m Welle beobachtet worden, so würde das für uns einen Fehler von 0·004‰ (vier Tausendstel pro mille) bedeuten.

Die vorhin erwähnte Überlagerungserscheinung, welche wir bis jetzt als unangenehm empfunden haben, kann sehr nutzbringend verwertet werden, wie das schon im ersten Weltkrieg von zwei Offizieren in der militärischen Empfangsstation im Eiffelturm in Paris gemacht wurde. Ein Franzose, namens Dr. Lucien Lewy, und ein Amerikaner, Major Armstrong, kamen gemeinsam auf den Gedanken, die Überlagerungserscheinung für den Bau von neuartigen Empfangsgeräten auszunutzen. Damals war die Trennschärfe keine brennende Frage, da es wohl keine zivilen Stationen, sondern nur militärische Telegraphiestationen gab, aber die damaligen Röhren erlaubten keine wirksame mehrstufige hochfrequente Verstärkung auf den Wellen zwischen 200 und 800 m. Erst ab 5000 m konnte man brauchbare Hochfrequenzverstärker bauen. Das bewog die beiden Männer, mit den damals zur Verfügung stehenden Eingitterröhren hochverstärkende, stabile Verstärker zu bauen, die nur eine einzige Frequenz, z. B. 60.000 Hz (5000 m), gut verstärken und unter Ausnützung der Überlagerung jede ankommende Station mittels einer um 60.000 Hz verschiedenen Hilfsfrequenz in die gewählte, neue Frequenz von 60.000 Hz zu verwandeln. Das bedeutete, daß wir, wenn wir Wien I hören wollten, der ersten Röhre außer der Wiener Welle, die von der Antenne eintrifft, künstlich noch eine Hilfsfrequenz zuführen müssen, die die um 60.000 Hz höhere oder niedrigere Frequenz aufzuweisen hat. Unser Sender Wien I hat eine Trägerfrequenz von 592 kHz, demgemäß muß die Hilfsschwingung entweder eine Frequenz von 652 kHz oder von 532 kHz aufweisen, das bedeutet, daß wir beim Bau eines solchen Empfängers die Grundeinteilung folgendermaßen durchzuführen haben:

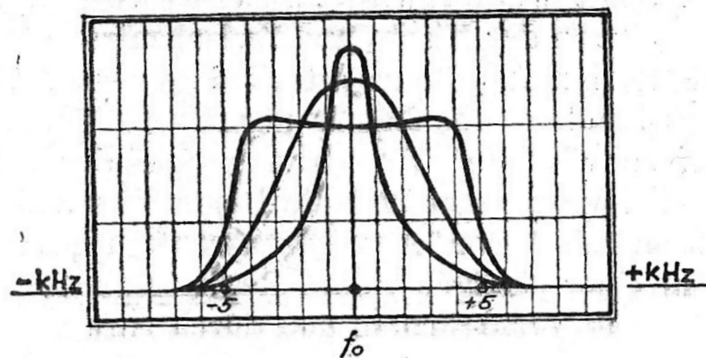


Blockschema
eines Superhet - Empfängers

Von der Antenne sieben wir über einen oder mehrere Abstimmkreise die gewünschte Station als Fernfrequenz aus und führen sie dem Steuergitter einer Röhre zu. Gleichzeitig erzeugen wir absichtlich im Empfänger mit einer eigenen Röhre, die einen kleinen Sender darstellt, die notwendige lokale Hilfsfrequenz, die wir dem Steuergitter derselben Röhre zuführen wie die Fernfrequenz. Wie wir wissen, werden sich die beiden Frequenzen gegenseitig beeinflussen und als Folge dieser Überlagerung kann im Anodenkreis der Röhre die Differenzfrequenz bevorzugt verstärkt herausgesiebt werden. Dazu braucht man bloß im Anodenkreis der Mischröhre einen auf die gewählte Differenzfrequenz abgestimmten Kreis haben und beim Abstimmen auf verschiedene Stationen achten, daß die lokale Hilfsfrequenz z. B. immer um die gewählten 60.000 Hz höher ist als die Fernfrequenz. Auf diese Weise wird jede ankommende Station, gleich ob sie im Kurz- oder Normalwellengebiet liegt, auf die viel langsamere gewählte Frequenz von z. B. 60.000 Hz verlagert, verwandelt, t r a n s p o n i e r t. Solche Empfänger führen deshalb auch allgemein ge-

sehen den Namen Transponierungs- oder Superheterodyn- oder abgekürzt Superhetempfänger.

Die neu gewonnene langsame Frequenz beinhaltet alle der Fernfrequenz aufgedrückten Eigenschaften wie die Modulation, und muß nach weiterer Verstärkung genau so wie bei gewöhnlichen Geradeausempfängern zuerst demoduliert werden, um ihr die Sprache oder die Musik zu entlocken. Daher folgt nach der Mischröhre immer ein auf die neue Frequenz abgestimmter Ein- oder Mehrröhrenverstärker, und erst wenn die Verstärkung die nötige Höhe erreicht hat, folgt eine Demodulationsröhre, meist in der Form einer Diode. Da die gewonnenen niederfrequenten, oder besser gesagt, tonfrequenten Spannungen nicht ausreichen, um einen Lautsprecher kräftig zu betreiben, muß noch eine genügend hohe Tonfrequenzverstärkung angewendet werden. Die neugewonnene, aus der Mischröhre herausgesiebte Frequenz liegt mit ihrer Schwingungszahl wesentlich niederer als die von der Station eintreffende Hochfrequenz, obwohl sie selbst hochfrequent ist. Sie ist aber gleichzeitig viel höher als die hörbaren von der Diode gelieferten Tonfrequenzen, und weil ihr Frequenzbereich gerade zwischen den beiden Frequenzen liegt, führt sie den Namen Zwischenfrequenz. Nach diesem Verfahren haben wir die gesamte Verstärkung in die Zwischenfrequenz verlegt, und da diese eine relativ niedere ist, ist sie auch verhältnismäßig leicht hoch zu verstärken, und wir können dem Empfänger jene Eigenschaften verleihen, die für gute Tonwiedergabe notwendig sind. Es wird doch immer nur eine Frequenz verstärkt. Hier lassen sich ohne viel Mühe gekoppelte abgestimmte Kreise in Form von Bandfiltern anwenden, ja sogar auch solche Bandfilter, deren Durchlaßbreite von außen während des Betriebes in ziemlich weitem Ausmaße verändert werden kann. Dadurch ist je nach Bedarf eine besonders hohe Trennschärfe bei etwas schlechterer Wiedergabe oder besonders gute Tonwiedergabe bei geringerer Trennschärfe einstellbar, wie auch alle dazwischenliegenden Stufen.



Durchlassbreite eines modernen Supers mit Bandbreiteregelung.

Jeder kann danach seinem Geschmack entsprechend die Tonqualität wählen, die er bevorzugt.

Wir haben schon lange von Schwunderscheinungen gesprochen, die wir Fading nannten. Es ist klar, daß die Techniker auch diesem Übel abzuhelfen versuchten und Wege suchten, um diese, die Ausbreitung der Radiowellen störenden Eigenschaften beim Empfänger möglichst zu verringern und den Empfang auszugleichen. Bei Apparaten, die solche Vorrichtungen nicht haben, muß man ständig dabeisitzen, und wenn die Lautstärke zu schwinden beginnt, gleich nachstellen. So hat man abends ständig damit zu tun. Das verleidet den Radioempfang, aber bei kleineren Geräten läßt sich leider nichts machen. Bei einem Supergerät, wo eine sehr hohe zwischenfrequente Verstärkung vorliegt und der Demodulatorröhre zugeführt wird, ist die nach der Gleichrichtung gewonnene pulsende Gleichspannung so hoch, daß sie für die automatische Regelung des Verstärkungsgrades des Mischrohres und Zwischenfrequenzverstärkers herangezogen werden kann. Um sie brauchen zu können, wird sie erst geglättet und in reine Gleichspannung verwandelt. Die Höhe dieser Gleichspannung hängt von der Stärke des einfallenden Senders ab und wird um so höher, je stärker der Sender ist und je genauer auf die-

sen abgestimmt wurde; wird nun diese Gleichspannung den Steuergittern der Misch- und Zwischenfrequenzröhren so zugeführt, daß das Steuergitter bei zunehmender Feldstärke des Senders eine immer negativere Vorspannung bekommt, so wird der Verstärkungsgrad der betreffenden Röhren herabgesetzt und die Lautstärke sinkt. Dazu sind Röhren mit besonderen Eigenschaften gebaut worden, die in einer einzigen Röhre Reglungsgrade von eins bis zehntausend ermöglichen, und durch Anwendung von zwei solchen Röhren erscheint uns also die Wiedergabe bei Senderschwankungen von eins zu hunderttausend immer noch gleich gut. Eines darf dabei nicht vergessen werden: so eine automatisch wirkende Fadingregelung ist auch begrenzt, denn wenn der Sender vollkommen verschwindet, kann auch die bestarbeitende Fadingregelung den verschwundenen Sender nicht herzaubern. Der Grundgedanke für eine wirksame selbsttätige Regelung ist die Schaffung einer Verstärkungsreserve, es muß also eine Mindestfeldstärke von dem zu empfangenden Sender vorhanden sein. Diese Feldstärke drückt die Gesamtverstärkung des Empfängers auf ein bestimmtes Maß herab. Schwankt nun die Feldstärke des Senders, so wird automatisch die Verstärkung des Empfängers im umgekehrten Verhältnis geändert. Wird der Sender schwächer, so sinkt die regelnde negative Vorspannung und die Verstärkung steigt und umgekehrt.

Mit der von der Diode gewonnenen Gleichspannung wurden eine Menge verschiedene automatisch arbeitende Einrichtungen im Laufe der Zeit entwickelt und die Bequemlichkeit und die Ausstattung eines guten Radioapparates immer weiter gesteigert. Eine der erwähnenswertesten Einrichtungen ist die Einführung der Stillabstimmung, welche oft als unnötiges Ding bezeichnet wird. Dem ist doch nicht so, denn die wenigsten Menschen bedienen einen Empfänger richtig. Sie stimmen nach dem Gehör ab, aber wie viele haben wirklich ein Gehör? Die Folge davon ist ein krächzender Empfang, der alles andere eher sein kann als musikalischer Genuß.

Und gerade die guten Empfänger sind infolge ihrer hohen Trennschärfe empfindlicher als die einfachen kleinen Geräte. Wird irgendwo im Gerät die Diodengleichspannung sichtbar gemacht, mittels eines Meßinstrumentes oder sonst irgendwie, so wissen wir, daß ein Sender dann richtig abgestimmt ist, wenn die erwähnte Spannung am größten ist. Man stimmt also auf den größten Instrumentenausschlag ab, wobei die Lautstärke gänzlich abgedreht sein kann, daher ohne etwas zu hören, also stumm. Dreht man nun den Lautstärkeregler auf, so erklingt die Wiedergabe in wirklich richtiger Güte, die das Gerät überhaupt abzugeben in der Lage ist. So kommt man zu der sogenannten Stummabstimmung, wobei als Indikator ein kleines Meßinstrument oder in den letzten Jahren eine eigens dafür entwickelte Röhre, Magisches Auge genannt, verwendet wird.

Das waren nur die wichtigsten Anwendungen der von der Diode gelieferten sendeabhängigen Gleichspannung. Es gibt sogar Schaltungen, in welchen bis zu vier Dioden in getrennten oder gekoppelten Funktionen Verwendung finden. Man baut damit Geräte mit verzögerter oder verstärkter Fadingreglung, mit Vorwärts- oder Rückwärtsreglung, mit automatischer Scharfabstimmung und noch manchen anderen Feinheiten, die eine wohldurchdachte Technik darstellen, aber wirklichen Sinn nur für Kenner und technische Feinschmecker haben. Es ist wesentlich wichtiger, wenn wir noch einen Blick hinter die Kulissen der heutigen Geräte machen und nachsehen, wieso es möglich war, so gute Radioapparate zu bauen und dabei so wenig Röhren zu verwenden. Die Amerikaner hatten es immer leichter. Drüben sind die Röhren um vieles billiger gewesen als in Europa, was bei den Millionenauflagen keine Kunst ist. Wir in Europa sind seit jeher in jeder Hinsicht schlechter dran. Die Absatzgebiete sind bei uns nicht so groß wie drüben und außerdem ist die Radioindustrie über ganz Europa verteilt und hochentwickelt. Man könnte die Absatzmärkte nur dann halten, wenn man in erster Linie qualitativ den Wünschen der

Käufer nachkommt, dann das Äußere dem Geschmack des Käufers anpaßt und erst dann den Preis der Einfuhrware anzupassen versucht. Wir mußten mit weniger mehr leisten, was besonders für die österreichische Radioindustrie gilt, und die Konstrukteure waren gezwungen, das Beste zu bauen und der anscheinend toten Materie das Höchste an Leistung zu entlocken. Maßgebend war daran die österreichische Röhrenindustrie beteiligt, welche von Anfang an den richtigen Weg einschlug und die Welterfahrungen rasch verwertete. So entstanden die hochgezüchteten Verstärkerröhren, welche allmählich, von der Diode angefangen, in steigendem Maß zu den Mehrfachsystemen in einem Glaskolben übergingen. Von den vielen verschiedenen Röhrenarten rückt man für normale Zwecke immer mehr und mehr ab, baut viel lieber nur drei und vier Typen in großen Serien, dafür aber so, daß alle technischen Tricks und Schaltungskniffe angewendet werden können. Die heutigen Röhren erlauben Mischung und gleichzeitig Erzeugung der lokalen Hilfsfrequenz ebensogut wie die hohe Zwischenfrequenz- und Niederfrequenzverstärkung. Ebenso sind in der Endröhre entweder die Hochfrequenzdiode oder Dioden untergebracht oder ein leistungsfähiges Endröhrensystem mit einer ausreichend starken Netzgleichrichterröhre vereinigt. Dabei benötigen die heutigen Röhren nur mehr die halbe Heizstromstärke für die Erhitzung der Kathoden als früher.

Einer der neuesten Radioapparate, die die österreichische Industrie gebaut hat, und der während des Krieges nur für Ausfuhrzwecke hergestellt wurde, ist der Zwergsuper der Wiener Radioindustrie. Klein, zierlich, kaum 3 kg schwer, für Kurz-, Normal- und Langwellen eingerichtet, für Gleich- und Wechselstromnetze geeignet, mit ausgezeichneter Empfindlichkeit und gutem Schwundausgleich versehen, benützt er für alles nur zwei verschiedene Röhrenarten außer dem Netzgleichrichter. Ein Gerät mit insgesamt drei Verstärkerröhren, das ebensogut arbeitet wie ein gleichartiger Fünfröhrensuper mit

Einfachröhren. Ein Zwerg an Größe und gleichzeitig ein Riese an Leistung und Güte.

Wenn wir auch jetzt schon eine so hohe Stufe des Wissens und der Entwicklung auf dem Gebiete der Schwingungen und Wellen erreicht haben und insbesondere das Um und Auf der Radiotechnik, die Radioröhre überall angewandt finden, so bin ich fest überzeugt, daß wir uns erst am Anfang einer großen technischen Epoche befinden. Über kurz oder lang wird es uns ebenso leicht sein, verschiedene optische Übertragungen aus allen Richtungen — auch über Erdteile hinaus — mittels des jüngsten Kindes der Radiotechnik, des Farbfernsehens im eigenen Heim zu empfangen und so der Vollkommenheit näherzurücken. Wir haben jetzt schon den Begriff der Zeit, des Raumes und der Entfernung besiegt, denn eine Radiowelle kann mehr als siebenmal die Erde in einer einzigen Sekunde umlaufen, und in einer Fünfzigstelsekunde gelangen die Zeichen zu uns, die von Radio-City in New York ausgestrahlt werden. Es wird die Zeit kommen, da wir ebenso leicht, wie wir durch Drehen eines einzigen Knopfes der Darbietung der Metropolitan Opera lauschen können, Sekunden später eine süße Chansonette, übertragen aus der Bucht von Capri, zu hören bekommen oder eine Darbietung der so melodiösen und schwermütigen Volkslieder des Don-Kosaken-Chores, oder in einer Sekunde später einem wissenschaftlichen Vortrag des eigenen Landessenders zuhören, Bilder, lebende, sprechende und färbige, übertragen und empfangen werden können. Ich bin überzeugt, die Techniker, deren Geist niemals schläft und die bis jetzt alles geschaffen haben, werden auch diese phantastischen Wünsche zur Wirklichkeit werden lassen.

Der Geist des Menschen ist es, der alles zu meistern vermag, derselbe Geist, der, richtig geleitet, zu immer höherer Kultur und Zivilisation führt, und unrichtig geleitet, zum Untergang der Welt führen kann. Die Folgen der für Zerstörungszwecke angewandten Technik haben wir alle genau gesehen und gespürt. Möge derselbe Geist

auf den durch ihn zerstörten Kulturzentren und Zentren der Jahrhunderte alten Zivilisation neue erstehen lassen, die sich nie mehr am Kampfe des Bösen beteiligen und die so schwer behüteten und doch entlockten Geheimnisse der Natur nur mehr zum Guten werden lassen.